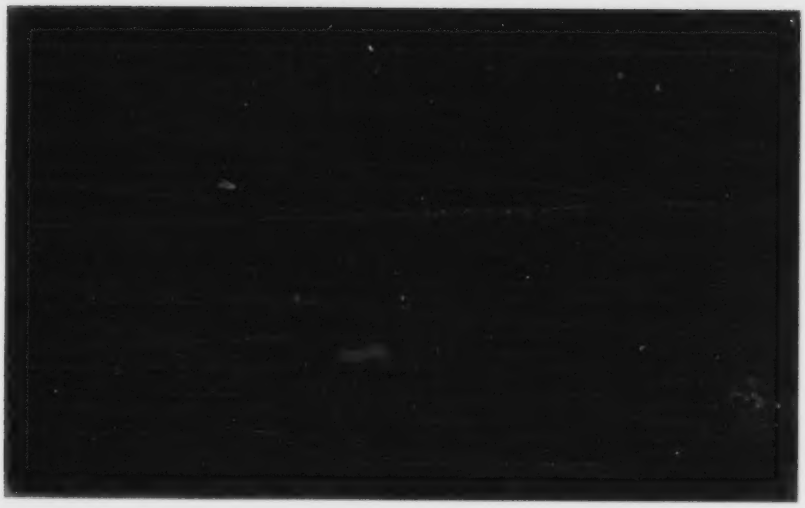
CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE



CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A.
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE: (514) 343-7575
TÉLEX: (21) 05-561325
EMAIL: crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX): (514) 343-7121

CRT-748

Manuel d'utilisation du système *Alto* pour le micro-ordinateur MacIntosh

par
Jean-Yves Potvin
et
Pierre St-Vincent

Centre de recherche sur les transports et Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale A, Montréal, Canada H3C 3J7.

Centre de recherche sur les transports — Publication #748

Janvier 1991

Dépôt légal – 1er trimestre 1991

91-02109/

Résumé. Le présent travail constitue un manuel à l'intention de l'utilisateur du système ALTO pour le micro-ordinateur MacIntosh. Ce système a été conçu afin de faciliter le développement d'algorithmes de génération de tournées pour des véhicules de transport. Il a été implanté au sein de l'environnement Allegro CommonLisp du micro-ordinateur MacIntosh, grâce auquel nous avons pu produire un système interactif-graphique d'une grande souplesse. Le manuel présente tous les menus disponibles et les effets de chacune des commandes offertes à l'usager.

Mots Clés. Manuel de l'usager, Micro-ordinateur, Système Interactif-Graphique, Tournées de Véhicules.

Abstract. We present here a user guide for the computer system ALTO which is now available on the MacIntosh microcomputer. This system is aimed at supporting the development of vehicle routing algorithms. It was implemented within the Allegro CommonLisp environment of the MacIntosh, from which it takes much of its power and flexibility. The guide describes all the menus currently available and the effects of each command.

KeyWords. User Guide, Microcomputer, Interactive-Graphic System, Vehicle Routing.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION....1

SECTION 1. L'heuristique générale: concepts théoriques....6

1.1 Le modèle général....6

1.2 L'opérateur d'initialisation....10

1.2.1 Les points de décision....11

1.3 L'opérateur de réinitialisation....13

1.3.1 Les points de décision....14

1.4 L'opérateur d'insertion d'arrêts....16

1.4.1 Les points de décision....17

1.4.2 La spécification des contraintes....19

1.5 L'opérateur de fusion....22

1.5.1 Les points de décision....23

1.6 L'opérateur d'échange....25

1.6.1 Les points de décision....27

1.6.2 L'opérateur d'échange: une approche multicritères....28

1.7 Conclusion....33

SECTION 2. Exemple d'utilisation du système Alto....34

2.1 Création d'un réseau et définition du problème....35

2.1.1 Création des noeuds et des arcs du réseau de transport....35

2.1.2 Transformation du noeud 2 (gris) en origine (noir)....37

2.1.3 Transformation des noeuds (gris) 1,3 et 4 en arrêts (blancs)....39

2.2 Résolution du problème créé....42

2.2.1 Création de la table de distances....42

2.2.2 Résolution du problème généré....43

SECTION 3. Le menu d'édition du réseau....52

SECTION 4. Considérations générales au sujet des dialogues....55

SECTION 5. Les fenêtres de dialogue pour l'édition des noeuds....57

5.1 Edition des propriétés associées à un NOEUD....58

5.2 Edition des propriétés associées à un ARRET....61

5.3 Edition des propriétés associées à une ORIGINE....64

SECTION 6. Présentation des menus 66
6.1 Présentation générale de la barre de menu 66
6.2 Les commandes du menu Fichier. 68
6.3 Les commandes du menu Edition. 74
6.4 Les commandes du menu Globale. 76
6.5 Les commandes du menu Heuristique. 83
6.6 Les commandes du menu Solution 84
SECTION 7. Les commandes du menu Heuristique. 87
7.1 La commande Définir... 88
7.2 Les répertoires d'opérateurs 90
7.3 L'édition des formules 92
7.4 L'opérateur d'initialisation (INIT) 93
7.5 L'opérateur de réinitialisation (INIT2) 95
7.6 L'opérateur d'insertion d'arrêts dans une route (AJOUT) 97
7.7 L'opérateur de fusion de routes (FUSION) 100
7.8 L'opérateur d'échange (ECHANGE) 102
7.9 La commande d'édition manuelle 107
7.10 Les Algorithmes 108
ANNEXE 1. Facilités prédéfinies 110
1- Variables globales 110
2- Ensembles prédéfinis 111
3- Primitives 112
4- Prédicats 118
5- Opérateurs ensemblistes 119
ANNEXE 2. Description des formats de fichiers 120
1- Fichier du réseau 121
2- Fichier d'arrêts 123
3- Fichier des distances 124
4- Fichier des véhicules 125
BIBLIOGRAPHIE 126

INTRODUCTION

Le système *Alto*, qui présente de nombreuses possibilités graphiques et interactives, a été conçu afin de favoriser et d'accélérer le développement et l'expérimentation d'algorithmes de génération de tournées pour des véhicules de transport [1]. Dans sa version actuelle, le système est en mesure de résoudre des problèmes de cueillette présentant les caractéristiques suivantes:

a) la présence d'une origine (dépôt) unique.

b) la présence d'une flotte de véhicules, homogène ou non homogène, regroupée au sein de l'origine et destinée à desservir l'ensemble des arrêts (clients, points de demande).

c) la présence d'une demande déterministe à chacun des arrêts. Cette demande doit être recueillie en totalité par le véhicule desservant l'arrêt.

d) la génération de routes bouclées (débutant et se terminant à l'origine).

e) la présence optionnelle d'une ou de plusieurs des contraintes suivantes:
   i) contraintes de capacité des véhicules
   ii) contraintes d'autonomie des véhicules en terme de distance maximale ou d'heures de disponibilité autorisées
   iii) fenêtres de temps aux arrêts

f) la minimisation des coûts d'opération: à cet effet, un certain nombre de critères de qualité peuvent être introduits afin d'évaluer et de modifier les solutions obtenues. Ces critères sont:
   i) la longueur des routes
   ii) le nombre de routes
   iii) les temps de passage aux arrêts
   iv) l'utilisation des véhicules en termes de saturation de la capacité, de la distance maximale ou de la durée de parcours maximale autorisée.

La procédure de résolution du système *Alto* repose principalement sur une heuristique générale, c'est-à-dire un ensemble de modèles que le

concepteur d'algorithmes instancie avec ses propres formules afin d'orienter la procédure de résolution vers les solutions désirées. L'heuristique générale apporte ainsi au système une souplesse qui est appréciée lors de la résolution de problèmes complexes pour lesquels il n'existe pas d'algorithmes vraiment satisfaisants. Elle fournit en outre un cadre unificateur pour de nombreux algorithmes classiques décrits dans les articles scientifiques, algorithmes qui peuvent dès lors être reproduits à l'aide des formules d'instanciation appropriées [2].

Alto a été implanté sur le Macintosh à l'aide de l'environnement Allegro COMMON LISP [4]. Cet environnement a permis de produire un système intégrant diverses méthodes pour la construction et la représentation graphique de réseaux de transport, la définition interactive de problèmes de génération de tournées et la résolution des problèmes ainsi définis. Plus précisément, nous retrouvons:

a) la construction et la représentation graphique de réseaux

Nous avons réalisé un logiciel de gestion de graphes qui a permis l'implantation des principales fonctions graphiques offertes par le système. Ce logiciel assure l'affichage du réseau à l'intérieur d'une fenêtre et l'édition interactive de ce réseau (en particulier, l'ajout et le retrait de noeuds et d'arcs).

La figure 1 illustre l'écran du Macintosh une fois que le système *Alto* a été activé. On y retrouve cinq fenêtres distinctes:

- La fenêtre d'affichage des opérateurs,
- La fenêtre pour l'affichage des objets et des résultats,
- La fenêtre du réseau, avec sa palette d'outils,
- La fenêtre du "Listener", permettant d'évaluer directement des expressions Common Lisp,
- Enfin, au bas de l'écran, la fenêtre d'état du système.

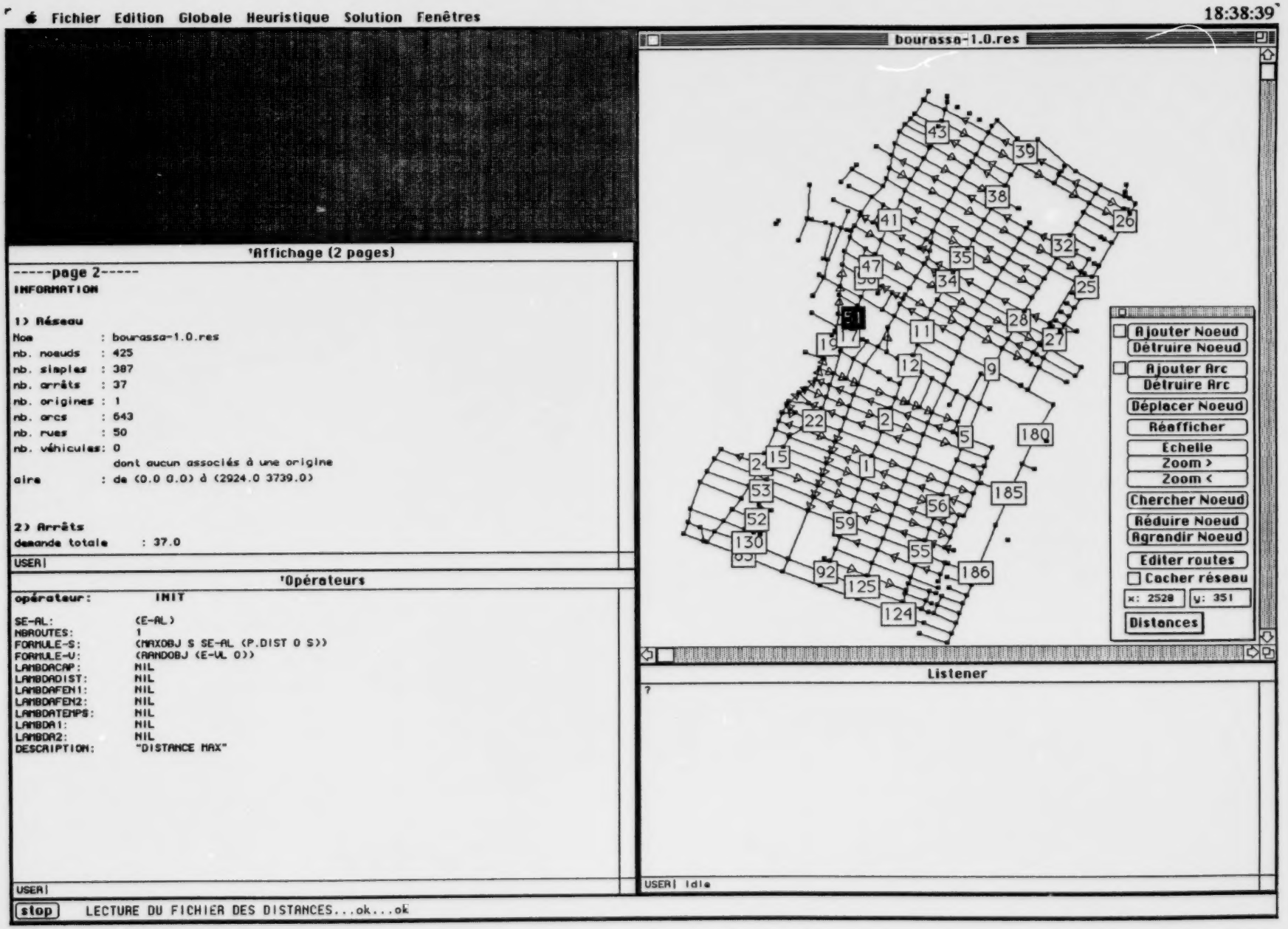


fig. 1 : L'écran d'Alto

b) la définition interactive de problèmes

L'utilisateur dispose d'un ensemble de méthodes lui permettant de générer interactivement le problème qu'il désire. En l'occurrence, les différents menus offrent les possibilités suivantes: la relocalisation de l'origine, la gestion de la flotte de véhicules (ajout, retrait), la gestion de l'ensemble des arrêts (ajout, retrait, relocalisation) et la modification des caractéristiques des objets impliqués dans la définition du problème telles la demande aux arrêts, la capacité des véhicules, etc...

c) la résolution des problèmes

Un certain nombre de procédures assurant la génération de tournées sont présentes au sein du système. On y retrouve pour l'instant un algorithme de Dijkstra pour la recherche des chemins plus courts entre les arrêts, un algorithme exact de commis-voyageur utilisant une approche de type séparation et évaluation, ainsi que l'heuristique générale. L'utilisateur est ainsi en mesure d'activer ces différents algorithmes et d'en observer les résultats.

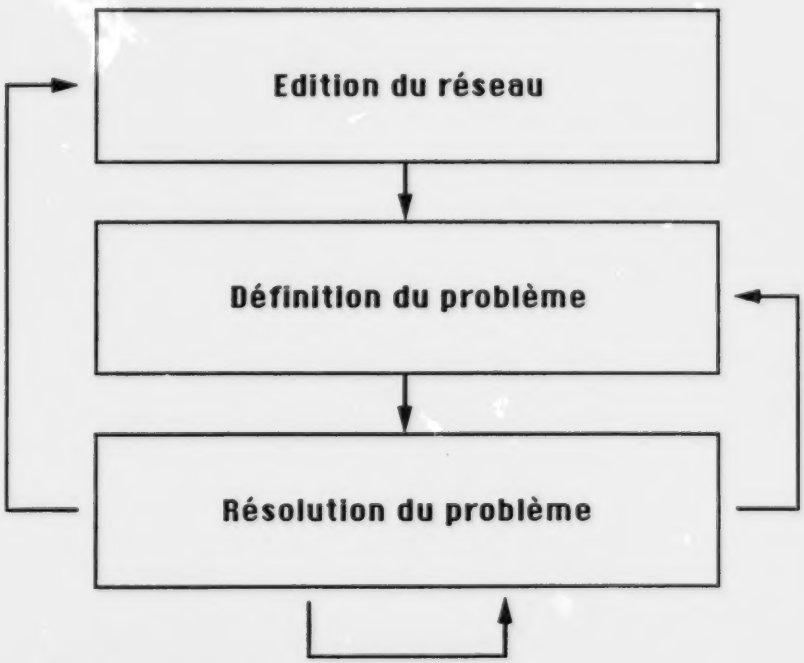


fig. 2 : Intégration des facilités offertes par *Alto*

Le système *Alto* a été conçu de façon à ce que l'usager puisse très facilement utiliser l'une ou l'autre de ces possibilités (voir figure 2). Ainsi, une séquence "normale" d'événements consiste à se créer tout d'abord un réseau de transport, puis à se définir un problème de génération de tournées et enfin à résoudre ce problème à l'aide des techniques algorithmiques qui sont offertes. Notons que l'usager peut en tout temps revenir en arrière et rééditer le réseau ou redéfinir le problème avant de le résoudre à nouveau. De plus, puisque l'heuristique générale correspond à un ensemble de modèles que l'utilisateur instancie à l'aide de ses propres formules, un même problème peut être résolu à l'aide de plusieurs stratégies différentes.

SECTION 1. L'heuristique générale: concepts théoriques

Il existe actuellement de nombreux algorithmes conçus pour résoudre les problèmes de génération de tournées pour un ou plusieurs véhicules [3]. Le but de l'heuristique générale est de regrouper un certain nombre de concepts fondamentaux, associés à ces algorithmes, au sein d'une même structure de base. En instanciant cette structure de base à l'aide de formules appropriés, l'utilisateur du système *Alto* pourra rapidement construire et tester un algorithme particulier.

1.1 Le modèle général

La figure 3 présente de façon schématique les éléments de base du modèle proposé ainsi que les relations qu'ils établissent entre eux:

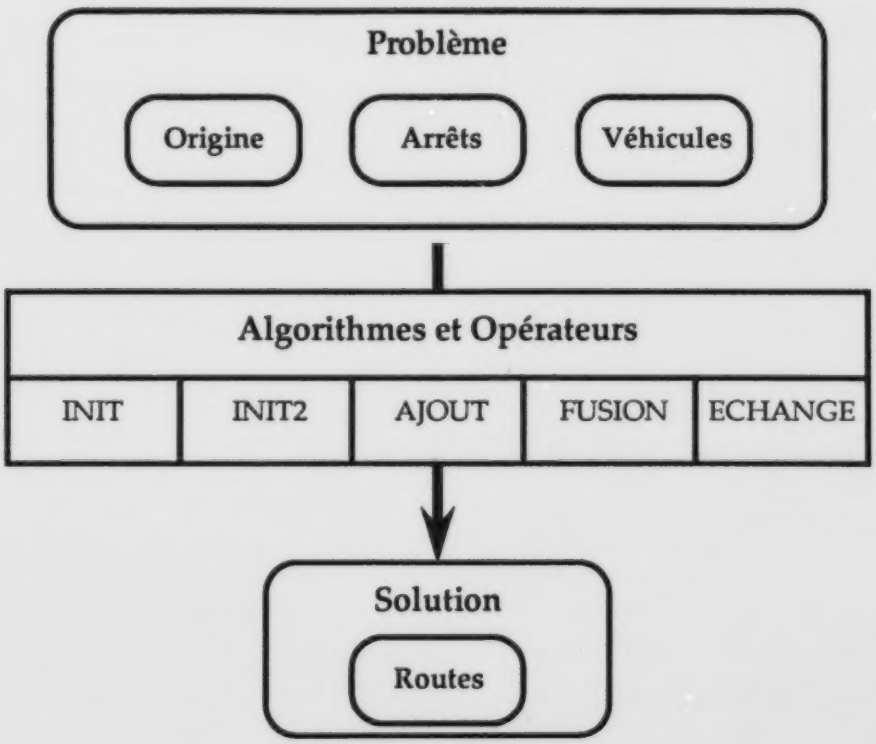


fig. 3 : Le modèle général

De façon plus précise, nous retrouvons:

a) un ensemble d'objets décrivant le problème :
Les objets, auxquels sont associés des attributs, s'identifient à l'aspect déclaratif du modèle. Mentionnons :

i) l'origine et ses attributs :
   - coordonnées
   - nombre de véhicules disponibles

ii) les arrêts et leurs attributs :
   - coordonnées
   - demande
   - fenêtre de temps
   - temps optimal (temps idéal pour l'arrivée du véhicule)
   - temps de service (temps alloué afin de recueillir la demande)

iv) les véhicules et leurs attributs :
   - capacité
   - vitesse
   - distance maximale
   - disponibilité (l'heure minimale à laquelle peut débuter une tournée et l'heure maximale à laquelle elle doit se terminer)

b) un ensemble d'objets décrivant une solution :
Ce sont les routes et leurs attributs :
   - longueur
   - temps de parcours
   - demande totale
   - nombre d'arrêts
   - liste séquencée des arrêts

c) les opérateurs de base

Cinq opérateurs sont actuellement implantés au sein du système. A chacun de ces opérateurs correspond un modèle qui décrit le fonctionnement général de l'opérateur. Certaines portions de ces modèles sont accessibles à l'usager qui peut y incorporer ses propres formules et ainsi influencer le comportement de l'heuristique générale. L'utilisateur instancie les modèles à l'aide de fonctions assurant la sélection des objets appropriés. Ces formules sont écrites en Common Lisp [4] et utilisent soit les fonctions de base offertes par le langage, soit les procédures prédéfinies au sein du système (voir Annexe 1 pour la description de ces procédures). Notons enfin que l'usager peut sauvegarder toutes ses formules, ses opérateurs

instanciés ainsi que ses algorithmes (i.e. fonction regroupant une suite d'appels à des opérateurs préalablement instanciés et sauvegardés) dans des répertoires spécialisés intégrés au sein du système.

Les opérateurs actuellement disponibles réalisent les fonctions suivantes:

i) INIT :
L'opérateur assurant l'initialisation de nouvelles routes à l'aide de germes choisis au sein de l'ensemble des arrêts "libres" (c.a.d. non desservis par un véhicule).

ii) INIT2 :
L'opérateur assurant la réinitialisation des routes à l'aide de germes choisis au sein de l'ensemble des arrêts appartenant déjà à ces routes.

iii) AJOUT :
L'opérateur assurant l'insertion de nouveaux arrêts à l'intérieur des routes.

iv) FUSION :
L'opérateur permettant de fusionner deux routes afin de créer une nouvelle route de dimension plus importante .

v) ECHANGE :
L'opérateur permettant de modifier la séquence des arrêts visités à l'intérieur des routes.

Ces opérateurs de base, constituant le noyau de l'heuristique générale, seront analysés de façon détaillée dans les sections 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 et 1.6.

L'usager intervient prioritairement pour ce qui est de la sélection des objets appropriés. Pour ce faire, l'usager spécifie des formules qui associent une valeur à certains objets impliqués dans la définition du problème. Cette valeur correspond à un coefficient de mesure de l'objet (CMO) et il est possible d'ordonner les objets et de procéder à une sélection, en retenant par exemple l'objet possédant le CMO maximal ou le CMO minimal.

Les formules définies par l'usager sont intégrées au sein des modéles décrivant les opérateurs de base précédemment mentionnés. De ce fait, toute modification apportée à ces formules ne peut qu'influencer

fortement le comportement des opérateurs et entraîner l'heuristique générale vers de nouvelles avenues de résolution.

Les formules les plus couramment utilisées intègrent souvent des fonctions réelles appartenant à l'un des types suivants :

i) $f : E_n \rightarrow \Re$ (e.g. la demande à un noeud)

ii) $f : E_r \rightarrow \Re$ (e.g. la longueur d'une route)

iii) $f : E_v \rightarrow \Re$ (e.g. la capacité d'un véhicule)

iv) $f : E_n \times E_n \rightarrow \Re$ (e.g. la distance entre deux noeuds)

v) $f : E_n \times E_r \rightarrow \Re$ (e.g. la distance séparant un noeud d'une route)

où

E_n = ensemble des noeuds (origine et arrêts)

E_r = ensemble des routes

E_v = ensemble des véhicules

Ayant présenté les concepts à la base du modèle général, nous allons maintenant préciser davantage le fonctionnement des opérateurs et identifier les points de décision où l'usager peut intervenir (dans les sections 1.2 à 1.6).

1.2 L'opérateur d'initialisation

L'opérateur INIT permet d'identifier un ou plusieurs germes assurant la création et l'initialisation d'une nouvelle route. Les germes sont choisis au sein de l'ensemble des arrêts "libres", c'est-à-dire les arrêts qui ne sont affectés à aucun véhicule (dans la suite, l'ensemble des arrêts libres sera représenté par le symbole E-AL et tout sous-ensemble de E-AL par SE-AL).

La figure 4 illustre le principe d'initialisation: Les arrêts y sont représentés par les petits carrés blancs numérotés de 1 à 8; l'origine est le carré central nommé "Orig". Parmi l'ensemble des arrêts libres, no.3 et no.4 permettent de générer la route Rx, no.5 et no.6 assurent la génération de la route Ry, tandis que no.7 assure la génération de la route Rz . Comme on le voit, les germes permettent de définir une orientation générale pour chacune des nouvelles routes créées.

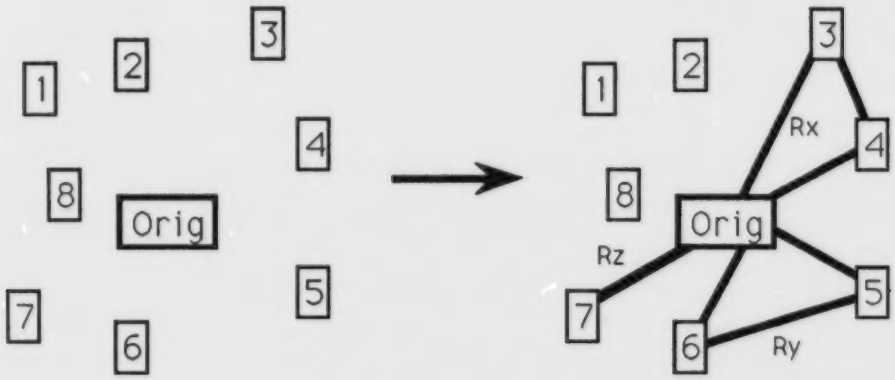


fig. 4 : Initialisation des routes Rx, Ry et Rz

La figure 5 présente une description détaillée de l'opérateur INIT.

INIT
SE-AL ← sous-ensemble des arrêts libres;
NbRoutes ← nombre de routes;
Tantque **NbRoutes** > 0 et qu'il reste des véhicules disponibles, faire
S ← sélection des germes;
V ← sélection du véhicule;
créer une route où les germes **S** sont desservis par le véhicule **V**;
SE-AL ← **SE-AL** - **S**;
NbRoutes ← **NbRoutes** - 1;

fig. 5 : l'opérateur INIT (xyz = point de décision, **V** = variable)

1.2.1 Les points de décision

L'usager intervient dans les portions du modèle présentées en souligné : il est possible de spécifier le nombre de routes désirées, le sous-ensemble des arrêts libres qui seront candidats lors du processus de sélection des germes, ainsi que les formules assurant la sélection du véhicule et des germes pour chacune des nouvelles routes créées. De façon plus précise, nous retrouvons:

a) la spécification d'un sous-ensemble des arrêts libres **(SE-AL)**

Il est possible de restreindre l'ensemble des arrêts libres à un sous-ensemble obéissant à certaines conditions définies par l'usager. Le processus de sélection des germes ne portera alors que sur les arrêts présents au sein de ce sous-ensemble. Cette formule est utile si l'on veut traiter prioritairement certains arrêts bien identifiés, tels les arrêts présentant la plus forte demande ou dont la fenêtre de temps est la plus étroite. En l'absence de spécification, c'est l'ensemble de tous les arrêts libres qui sera retenu.

b) la spécification du nombre de routes **(NbRoutes)**

A cet endoit, l'usager spécifie le nombre de routes qu'il désire créer. L'opérateur d'initialisation retiendra le minimum entre cette valeur et le nombre de véhicules disponibles.

c) la sélection des germes **(S)**

Comme on l'a vu à la figure 5, l'initialisation d'une route se fait à l'aide d'un ou plusieurs germes choisis au sein de l'ensemble SE-AL, tel que défini en a).

d) la sélection du véhicule (V)

L'usager est en mesure d'identifier le véhicule chargé de desservir la nouvelle route créée. Si l'on dispose d'une flotte hétérogène, il devient possible de retenir un véhicule en tenant compte des germes qui ont été précédemment sélectionnés (e.g. on retiendra le véhicule de capacité maximale si les germes affichent une forte demande). En l'absence de toute spécification, un choix aléatoire sera fait parmi l'ensemble des véhicules disponibles : une telle approche est utile dans le cas d'une flotte homogène où tous les véhicules sont équivalents.

Notons enfin que le processus d'initialisation peut être simulé manuellement par l'usager. A l'aide des menus, ce dernier peut en effet associer interactivement un ou plusieurs arrêts à chacun des véhicules disponibles. Cette alternative s'avère intéressante puisqu'un utilisateur expert est souvent en mesure d'initialiser les routes d'une façon beaucoup plus judicieuse que toute approche de nature algorithmique .

1.3 L'opérateur de réinitialisation

L'opérateur INIT2 permet de réinitialiser une route, en identifiant un ou plusieurs germes au sein des arrêts appartenant déjà à cette route. Dans la suite, les symboles E-R et E-AR représenteront respectivement l'ensemble des routes et l'ensemble des arrêts appartenant à ces routes. De plus, tous les sous-ensembles de E-R seront présentés par le symbole SE-R et tous les sous-ensembles de E-AR par le symbole SE-AR.

La figure 6 illustre le principe de réinitialisation: parmi l'ensemble des arrêts appartenant à la route Rx, on sélectionne les arrêts no.2 et no.4 afin d'initialiser la nouvelle route Rx', libérant ainsi les arrêts no.3, no.5 et no.6.

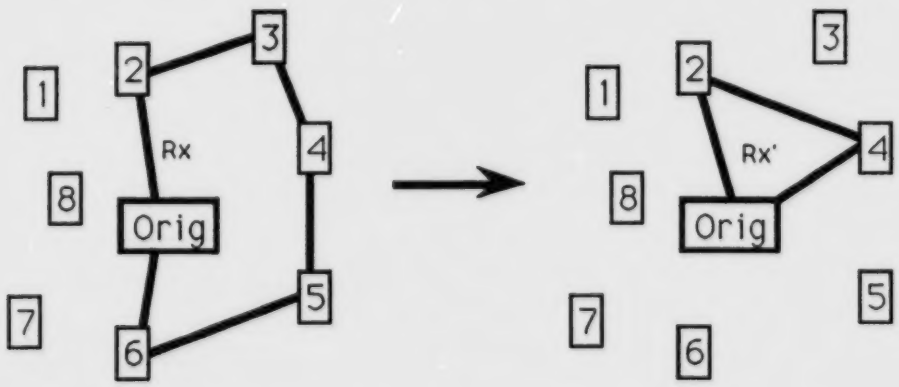


fig. 6 : Réinitialisation de la route Rx

La figure 7 présente une description détaillée de l'opérateur INIT2.

INIT2
SE-R ← sous-ensemble des routes;
NbRoutes ← nombre de routes générées;
Tant que **NbRoutes** > 0 et que **SE-R** est non-vide, faire
R ← sélection d'une route;
SE-AR ← sous-ensemble d'arrêts sur la route;
S ← sélection des germes;
Retirer **R** de **SE-R**
Détruire la route **R** et créer une nouvelle route pour desservir les germes **S**;
NbRoutes ← **NbRoutes** - 1;

fig. 7 : l'opérateur INIT2

Encore une fois, l'usager intervient dans les portions du modèle en soulignés.

1.3.1 Les points de décision

a) la spécification d'un sous-ensemble des routes **(SE-R)**

Il est possible de restreindre l'ensemble des routes à un sous-ensemble obéissant à certaines conditions définies par l'usager. Le processus de sélection de la route ne portera alors que sur les routes présentes au sein de ce sous-ensemble. En l'absence de spécification, c'est l'ensemble de toutes les routes qui sera retenu.

b) la spécification du nombre de routes **(NbRoutes)**

A cet endroit, l'usager spécifie le nombre de routes qu'il désire créer. L'opérateur de réinitialisation retiendra le minimum entre cette valeur et le nombre de routes existantes.

c) la sélection d'une route **(R)**

L'usager spécifie la route qu'il désire réinitialiser. Celle-ci sera choisie au sein de l'ensemble SE-R, tel que défini en a).

d) la spécification du sous-ensemble d'arrêts dans la route choisie **(SE-AR)**

Il est possible de restreindre l'ensemble des arrêts, à l'intérieur duquel seront choisis les germes, à un sous-ensemble obéissant à certaines conditions définies par l'usager. Le processus de sélection des germes ne portera alors que sur les arrêts présents au sein de ce sous-ensemble. En l'absence de spécification, c'est l'ensemble de tous les arrêts appartenant à la route sélectionnée qui sera retenu (voir le point c).

e) la sélection des germes (S)

Comme on l'a vu à la figure 7, la réinitialisation d'une route se fait à l'aide d'un ou plusieurs germes choisis au sein de l'ensemble SE-AR, tel que défini en d).

1.4 L'opérateur d'insertion d'arrêts

Dans *Alto*, l'opérateur AJOUT est le mécanisme itératif de construction des routes. A chaque itération, deux décisions fondamentales doivent être prises: il faut d'abord choisir un arrêt libre puis décider où il doit être inséré. Evidemment, c'est l'usager qui oriente l'opérateur d'ajout à l'aide des formules d'instanciation appropriées. La figure 8 fournit un exemple de ce principe pour les routes présentées à la figure 4. Ici, l'arrêt no.2 est retenu et inséré avant l'arrêt no.3 au sein de la route Rx. Normalement, la procédure sera ainsi répétée jusqu'à épuisement de l'ensemble des arrêts libres.

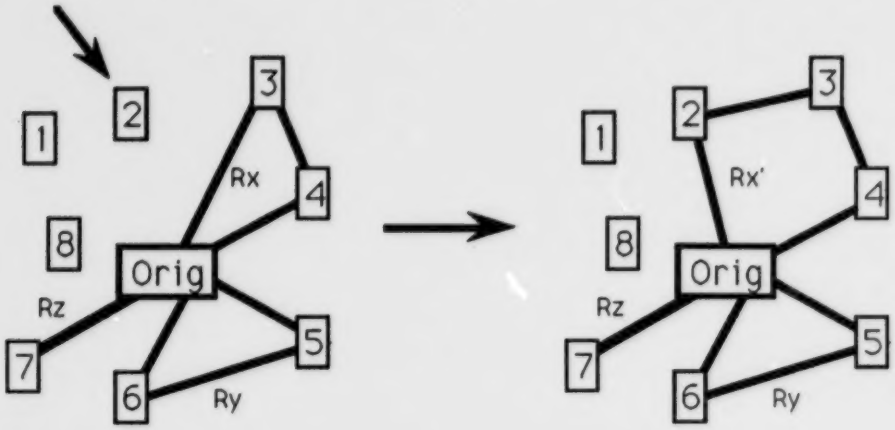


fig. 8 : Sélection et ajout de l'arrêt 2

La figure 9 présente une description détaillée de l'opérateur AJOUT.

AJOUT
SE-AL ← sous-ensemble des arrêts libres;
Tant que **SE-AL** est non-vide, faire
R1 ← sélection de la route 1;
AL ← sélection d'un arrêt libre;
R2 ← sélection de la route 2;
AR ← sélection d'un arrêt sur une route;
Sortir et terminer si critère d'arrêt est différent de NIL;
Si l'insertion de **AL** satisfait les contraintes alors
insérer **AL** avant / après **AR**
Sinon
traiter **AL** selon mode;
retirer **AL** de **SE-AL**;

fig. 9 : l'opérateur AJOUT

1.4.1 Les points de décision

a) la spécification d'un sous-ensemble des arrêts libres **(SE-AL)**

Tout comme pour l'opérateur INIT, l'ensemble des arrêts libres peut se réduire à un sous-ensemble satisfaisant certaines conditions définies par l'usager. L'opérateur d'ajout ne considérera alors que les arrêts présents dans ce sous-ensemble. Cette spécification est fort utile car elle permet de traiter les arrêts libres de façon sélective.

Il est possible par exemple d'appliquer une instanciation AJOUT1 de l'opérateur AJOUT à un sous-ensemble des arrêts libres situés au voisinage de l'origine et appliquer par la suite une nouvelle instanciation AJOUT2 aux arrêts restants. L'usager est ainsi en mesure de modifier la stratégie de résolution en l'adaptant aux caractéristiques des arrêts traités.

b) la sélection des routes et des arrêts

La sélection des routes et des arrêts correspond à un point de décision majeur au sein de l'opérateur AJOUT. Comme nous l'avons mentionné précédemment, le mécanisme de sélection et d'insertion s'applique aux arrêts libres contenus dans l'ensemble SE-AL. Cette procédure se répète ainsi

jusqu'à épuisement de l'ensemble ou jusqu'à la vérification d'un critère d'arrêt défini par l'usager (voir le point d). A chacune des itérations, nous retrouvons :

i) la sélection d'une première route **(R1)**

Il est possible d'identifier ici une route particulière, de façon à subordonner à cette route la sélection subséquente des arrêts AL et AR (tels que définis plus loin). Un usager peut, par exemple, sélectionner la route la moins longue, identifier l'arrêt libre situé le plus près de cette route et enfin procéder à l'insertion de l'arrêt à l'intérieur de la route. La spécification d'une route à cet endroit permet donc de reproduire une séquence d'événements du type : sélection d'une route, sélection d'un arrêt libre et insertion de l'arrêt libre au sein de la route. Notons toutefois que la formule de sélection pour la route R1 est optionnelle; elle est inactive si sa valeur est fixée à NIL.

ii) la sélection d'un arrêt libre **(AL)**

La formule de sélection définie par l'usager permet de retenir un arrêt particulier dans l'ensemble SE-AL . L'arrêt libre sera par la suite traité de manière à l'inclure au sein d'une route. Cette formule est fondamentale car elle permet de définir l'ordre dans lequel les arrêts seront inclus au sein des routes.

iii) la sélection d'une seconde route **(R2)**

Il est possible d'identifier ici une seconde route et de lui subordonner la sélection de l'arrêt AR. Un usager peut, par exemple, sélectionner un arrêt libre, identifier la route la plus proche et insérer l'arrêt libre à l'intérieur de cette route. La spécification d'une route à cet endroit permet donc de reproduire une séquence d'événements du type : sélection d'un arrêt libre, sélection d'une route et insertion de l'arrêt libre au sein de la route. Notons toutefois que la formule de sélection pour R2 est optionnelle; elle est inactive si sa valeur est fixée à NIL.

iv) la sélection d'un arrêt sur une route **(AR)**

La formule de sélection permet ici de retenir un arrêt particulier sur l'une des routes. L'identification d'un tel arrêt, combinée à la spécification d'un ordre d'insertion, définit de façon non équivoque un endroit pour l'insertion de l'arrêt libre AL. Si la spécification de route R2 est active, la sélection de

l'arrêt AR se fera à l'intérieur de cette route. Sinon, si spécification de R1 est active l'arrêt sera sélectionné à l'intérieur de cette route, et en dernier ressort (i.e. R1 et R2 à NIL) c'est l'ensemble de toutes les routes qui sera considéré.

c) la spécification d'un ordre d'insertion

Après avoir identifié un arrêt libre (AL) et un arrêt sur une route (AR), l'usager indique si AL doit être inséré avant ou après AR au sein de la route. Par défaut, AL sera inséré après AR.

d) la spécification d'un critère d'arrêt

Il s'agit en l'occurrence d'un prédicat qui retourne VRAI (non NIL) ou FAUX (NIL). Dès que le critère d'arrêt est vérifié l'opérateur AJOUT se termine, et ce, même s'il reste des arrêts à traiter. En l'absence de toute spécification, le critère d'arrêt est automatiquement ignoré. Un tel critère peut se révéler utile si l'on désire interrompre le processus d'insertion des arrêts avant épuisement de l'ensemble SE-AL (p.e. si la demande totale sur l'une des routes dépasse un seuil critique).

e) la spécification d'un mode de traitement de l'insertion

La spécification d'un tel mode est directement liée à la présence de contraintes et est discuté dans la section qui suit.

1.4.2 La spécification des contraintes

L'usager est en mesure d'activer trois types de contraintes : contraintes de capacité des véhicules, contraintes d'autonomie maximale des véhicules en terme de temps ou de distance et fenêtres de temps aux arrêts. A chacun de ces types correspond un paramètre de pondération permettant de renforcer ou de relaxer la contrainte associée.

Dans la plupart des problèmes rencontrés en pratique, on retrouve souvent une ou plusieurs des contraintes mentionnées ci-haut. Leur degré d'élasticité est toutefois fort variable et l'on accepte parfois la violation d'une contrainte si la solution apporte par ailleurs de nombreux bénéfices. C'est là l'intérêt majeur des paramètres de pondération qui permettent l'ajustement des contraintes en fonction du problème traité.

Actuellement, les cinq paramètres disponibles sont:

i) LAMBDAcap

On a la contrainte suivante pour chacune des routes:
DEMANDE TOTALE SUR ROUTE
≤ LAMBDAcap * CAPACITE DU VEHICULE

ii) LAMBDAdist

On a la contrainte suivante pour chacune des routes:
LONGUEUR DE LA ROUTE
≤ LAMBDAdist * DISTANCE MAXIMALE DU VEHICULE

iii) LAMBDAtemps

On a la contrainte suivante pour chacune des routes:
TEMPS DE PARCOURS ≤ LAMBDAtemps * TPmax
où

TPmax = temps de parcours maximal du véhicule
= (Hmax - Hmin)
Hmin = heure minimale à laquelle le véhicule peut débuter sa tournée
Hmax = heure maximale à laquelle le véhicule doit terminer sa tournée

iv) LAMBDAfen1 , LAMBDAfen2

On a pour chacun des arrêts desservis par un véhicule:

a) Dans le cas symétrique : borne inférieure et supérieure sont fournis.
TEMPS D'ARRIVEE ≤ Topt + LAMBDAfen2 * (Tmax -Topt)
TEMPS D'ARRIVEE ≥ Topt - LAMBDAfen1 * (Topt -Tmin)

b) Le cas non symétrique avec la borne supérieure seulement.
TEMPS D'ARRIVEE ≤ Topt + LAMBDAfen2 * (Tmax -Topt)

c) Le cas non symétrique avec la borne inférieure seulement.
TEMPS D'ARRIVEE ≥ Topt - LAMBDAfen1 * (Topt - Tmin)
où

Topt = temps optimal de service à l'arrêt
Tmin = borne inférieure de la fenêtre de temps
Tmax = borne supérieure de la fenêtre de temps

Comme on peut le constater, une valeur supérieure à 1 pour un paramètre donné implique la relaxation de la contrainte correspondante, et une valeur inférieure à 1 produit l'effet opposé. Par ailleurs, l'heuristique ignore les contraintes pour lesquelles la valeur du paramètre associé est fixée à NIL .

Evidemment, la présence de contraintes peut interdire l'insertion d'un arrêt libre à l'endroit spécifié. Dans un tel cas, divers modes de traitement de l'insertion s'offrent à l'utilisateur:

a) mode libre: l'arrêt ne sera pas inséré à l'endroit indiqué. Ainsi, l'arrêt demeure libre et pourra éventuellement être traité au cours d'une phase ultérieure.

b) mode alternatif: l'heuristique utilise une formule alternative d'insertion (définie par l'usager) ne tenant compte que des endroits où l'insertion de l'arrêt respecte toutes les contraintes. S'il n'existe aucune alternative assurant le respect des contraintes, l'arrêt demeure libre.

c) mode insertion: l'arrêt libre est inséré à l'endroit spécifié malgré la violation des contraintes.

d) mode interruption: l'activation de l'opérateur AJOUT se termine dès qu'un arrêt ne peut être inséré à l'endroit indiqué. Ainsi, tous les arrêts non encore traités demeurent libres.

e) mode interactif: ici, l'usager doit spécifier l'un des quatre modes précédents dès que l'insertion d'un arrêt libre viole les contraintes. Cette approche interactive permet de traiter l'insertion de chacun des arrêts sur une base individuelle.

La présence de ces divers modes autorise un traitement plus raffiné de l'insertion pour certains problèmes présentant des contraintes multiples. Le mode "libre", par exemple, permet de relaxer les contraintes ou de modifier certaines formules afin de faciliter l'insertion des arrêts demeurés libres suite à une première activation de l'opérateur AJOUT. Notons enfin que le processus d'insertion peut être simulé manuellement par l'usager. A l'aide des menus, ce dernier peut en effet inserer interactivement un arrêt dans une route.

1.5 L'opérateur de fusion

L'opérateur FUSION est un processus itératif de construction de grandes routes à partir de plus petites. La figure 10 fournit un exemple de ce principe pour les routes présentées à la figure 8. Ici, les routes Rx et Ry sont retenues et fusionnées pour former la nouvelle route Rxy.

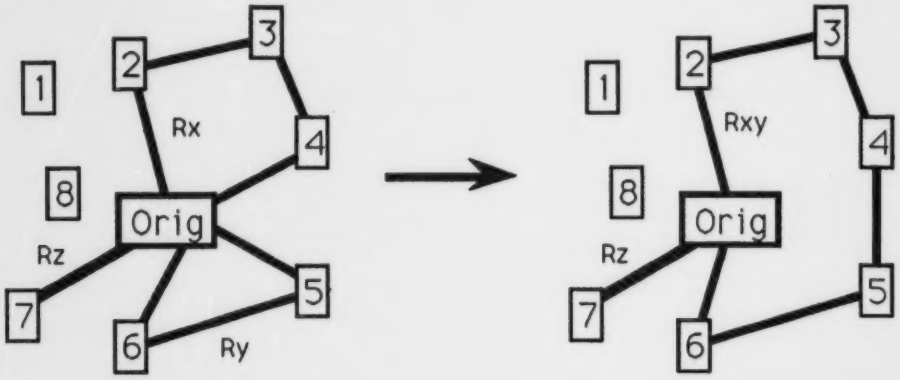


fig. 10 : Création de la route Rxy par fusion des routes Rx et Ry

En fait, la fusion des routes ne peut s'effectuer que par les extrémités, ce qui permet de créer quatre routes différentes parmi lesquelles celle de longueur minimale est retenue. Les quatre cas possibles sont présentés à la figure 11.

Route1	= (n1, ..., nm)
Route2	= (n1', ..., nm')
FUSION1	= (n1, ..., nm, n1', ..., nm')
FUSION2	= (n1, ..., nm, nm', ..., n1')
FUSION3	= (nm, ..., n1, n1', ..., nm')
FUSION4	= (nm, ..., n1, nm', ..., n1')

fig. 11 : Les quatre cas possibles de FUSION

La figure 12 présente une description détaillée de l'opérateur FUSION.

```
FUSION
SE-R ← sous-ensemble des routes;
Tantque cardinalité( SE-R ) > 1 faire
    R1 ← sélection de la route 1;
    Retirer R1 de SE-R;
    R2 ← sélection de la route 2;
    Retirer R2 de SE-R;
    Sortir et terminer si critère d'arrêt est différent de NIL
    Si la fusion de R1 et R2 satisfait les contraintes, alors
      V ← sélection du véhicule desservant R1 ou R2;
      Créer la route R, desservie par V, en fusionnant R1 et R2;
      Ajouter R dans SE-R;
    Sinon
      traiter R1 et R2 selon mode;
```

fig. 12 : l'opérateur FUSION

1.5.1 Les points de décision

a) la spécification d'un sous-ensemble des routes **(SE-R)**

Il est possible de restreindre l'ensemble des routes à un sous-ensemble obéissant à certaines conditions définies par l'usager. Le processus de sélection des routes ne portera alors que sur les routes présentes au sein de ce sous-ensemble. En l'absence de spécification, c'est l'ensemble de toutes les routes qui sera retenu.

b) la sélection de la route 1 et de la route 2 **(R1, R2)**

La sélection des routes est un point de décision majeur au sein de l'opérateur FUSION. Cette procédure se répète jusqu'à qu'il n'y ait plus qu'une seule route ou jusqu'à la vérification d'un critère d'arrêt défini par l'usager (voir le point c). Notons que la nouvelle route R, obtenue de la fusion de R1 et R2, est ajoutée à l'ensemble SE-R et pourra donc éventuellement être fusionnée avec une autre route.

c) la spécification d'un critère d'arrêt

Il s'agit, en l'occurrence, d'un prédicat qui retourne VRAI (non NIL) ou FAUX (NIL). Dès que le critère d'arrêt est vérifié l'opérateur FUSION se termine, et ce, même s'il reste des routes à traiter. En l'absence de toute spécification, le critère d'arrêt est considéré comme FAUX. Un tel critère peut se révéler utile si l'on désire interrompre le processus de fusion des routes avant épuisement de l'ensemble SE-R (e.g. si la demande totale sur l'une des routes dépasse un seuil critique).

d) la sélection du véhicule (V)

Si les deux véhicules V1 et V2, desservant respectivement les routes R1 et R2 peuvent desservir la nouvelle route R, alors la formule de sélection d'un véhicule permettra d'en choisir un. Sinon, seul le véhicule pouvant desservir la nouvelle route sera choisi.

e) la spécification d'un mode de traitement de la fusion

Comme pour l'opérateur AJOUT, la spécification du mode est directement lié à la présence de contraintes (voir section 1.4.2 pour la description des contraintes). Evidemment, la présence de contraintes peut interdire la fusion de deux routes. Dans un tel cas, quatre modes de traitement s'offrent à l'utilisateur:

i) mode libre: les routes R1 et R2 ne sont pas fusionnées.

ii) mode fusion: les routes R1 et R2 sont fusionnées malgré la violation des contraintes.

iii) mode interruption: l'activation de l'opérateur FUSION se termine dès que la fusion des routes R1 et R2 ne peut être effectuée.

iv) mode interactif: ici, l'usager doit spécifier l'un des trois modes précédents dès que la fusion des routes R1 et R2 viole les contraintes.

1.6 L'opérateur d'échange

Cet opérateur assure la modification de la séquence des arrêts visités à l'intérieur des routes prises individuellement (échanges intra-routes) ou des routes prises toutes ensembles (échanges inter-routes), afin d'améliorer la qualité de la solution. L'affectation initiale des arrêts à un véhicule pourra donc être modifiée dans une perpective globale d'optimisation. Cette approche s'appuie sur la modélisation d'un problème de type MTSP (Multiple Traveling Salesmen Problem) en un problème équivalent de type TSP (Traveling Salesman Problem) [1]. Fondamentalement, la technique utilisée consiste à créer M copies de l'origine. Les liens unissant les noeuds du réseau à l'origine sont retirés et remplacés par M liens de longueur équivalente, soit un lien pour chacune des copies de l'origine. Toute solution au MTSP correspond alors à une "super-route" unique dans le réseau augmenté. (figure 13).

fig. 13 : Equivalence 2TSP - TSP

Dans le système *Alto*, nous autorisons deux classes d'échanges:

a) <u>échange entre k arcs</u> (échanges de type opt-k)
   i) échange de type opt-2 classique [1]: échange de 2 arcs contre 2 autres (voir figure 14 (b)). Cette technique d'échanges peut être effectuée sur chaque route prise individuellement (intra-routes) ou sur l'ensemble des routes (inter-routes).
   ii) échanges de type opt-2 étendue (opt-2*) [2]: similaire aux échanges de type opt-2, sauf que les deux sous-chaines s'obtiennent en partionnant la "super-route" en deux routes (voir figure 14 (c)), qui sont ensuite recombinées pour former une "super-route" équivalente(voir figure 14 (d)). Notons que la partition de la "super-route" en deux routes distinctes n'est possible que si chacune d'elle contient une copie de l'origine. Par

ailleurs, cette technique d'échanges ne peut être effectuée que sur l'ensemble des routes (inter-routes).

iii) échanges de type opt-3 [1]: échanges de 3 arcs contre 3 autres [2]. Cette technique d'échanges peut être effectuée sur chaque route prise individuellement (intra-routes) ou sur l'ensemble des routes (inter-routes).

b) <u>échange entre k arrêts</u>

i) échange de type SWAP-1: la stratégie consiste à changer la position d'un arrêt, en considérant toutes les autres positions possibles dans les routes concernées. Cette technique d'échanges peut être effectuée sur chaque route prise individuellement (intra-routes) ou sur l'ensemble des routes (inter-routes).

ii) échange de type SWAP-2: la stratégie consiste à échanger la position de deux arrêts. Cette technique d'échanges peut être effectuée sur chaque route prise individuellement (intra-routes) ou sur l'ensemble des routes (inter-routes).

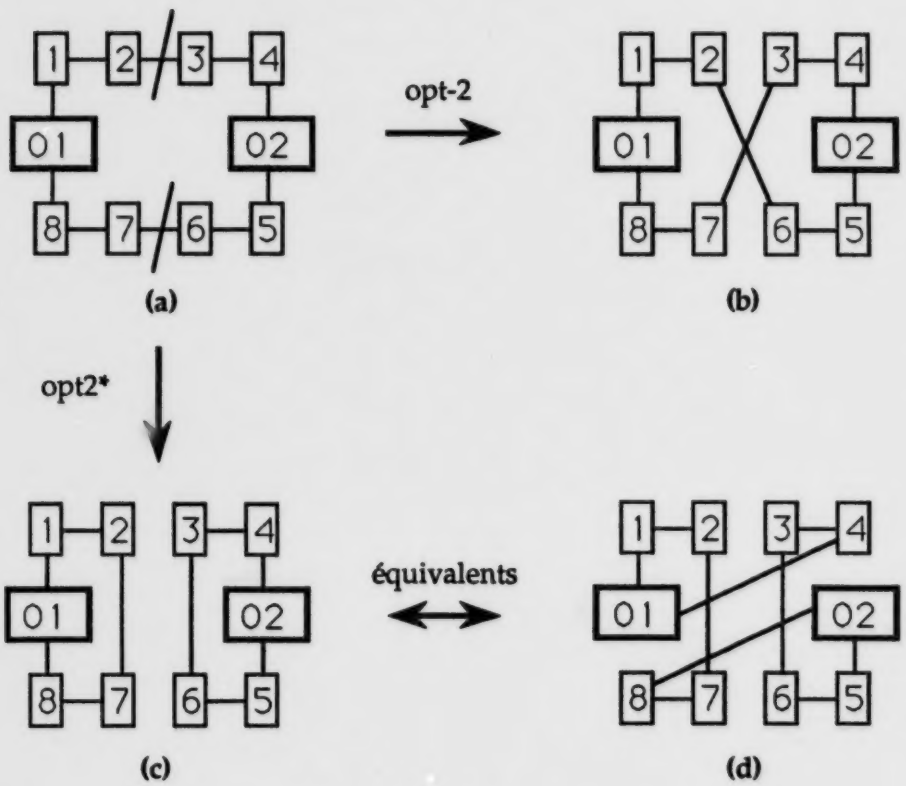


fig. 14 : Echanges de type opt-2* et opt-2

La figure 15 présente de façon détaillée l'opérateur ECHANGE.

```
                              ECHANGE
NBECHmax  ←  nombre d'échanges maximum pouvant être effectués;
SEUIL-T   ←  seuil total sur l'ensemble des échanges;
SEUIL-E   ←  seuil sur un échange individuel;
SE-R      ←  sous-ensemble de routes;
NBECH     ←  0
QUALITEmax        ←  0;
SOL-COURANTE      ←  solution initiale;
Tant qu'il reste des échanges dans SOL-COURANTE
     et que NBECH ≤ NBECHmax faire
     DIFF ←  différence entre la longueur des liens ajoutés
             et retranchés
     Si DIFF < MIN( SEUIL-T, SEUIL-E) alors
          SOL-ECHANGE  ←  solution obtenue après échange;
       Si SOL-ECHANGE satisfait les contraintes alors
          QUALITE      ←  évaluation de la formule de qualité
                          des routes
                          pour SOL-ECHANGE;
       Si QUALITE > QUALITEmax alors
          SOL-COURANTE ←  SOL-ECHANGE;
          QUALITEmax   ←  QUALITE;
          NBECH        ←  NBECH + 1;
          SEUIL-T      ←  SEUIL-T - DIFF;
```

fig. 15 : l'opérateur ECHANGE

1.6.1 Les points de décision

a) la spécification du nombre maximum d'échanges (NBECHmax)

A cet endroit, l'usager spécifie le nombre maximal d'échanges qu'il désire effectuer avant l'interruption du processus d'échanges, ce qui permet de limiter le temps utilisé pour l'exécution de cette étape. En l'absence de spécification, aucune limite ne sera retenue.

b) la spécification des seuils (SEUIL-T, SEUIL-E)

Comme on le voit à la figure 15, l'usager est en mesure de définir un seuil s'appliquant à chacun des échanges (SEUIL-E) et un seuil total s'appliquant à l'ensemble des échanges (SEUIL-T). Ainsi, pour une approche de type 2-opt, un échange ne sera pas retenu si la différence entre la somme des longueurs des deux liens ajoutés et la somme des longueurs des deux liens retranchés est supérieure au min(SEUIL-E, SEUIL-T). Par ailleurs, si on suppose que l'on dispose d'un réseau symétrique et que la valeur initiale du seuil total est égale à U, la longueur totale des routes ne pourra augmenter de plus de U unités à la fin de la procédure d'échanges et ce, quels que soient les critères retenus afin d'évaluer la qualité des routes (voir le point d).

c) la spécification d'un sous-ensemble de routes (SE-R)

Il est possible de restreindre l'application de la procédure d'échanges à un sous-ensemble de routes obéissant à certaines conditions définies par l'usager. En l'absence de spécification, c'est évidemment l'ensemble de toutes les routes qui sera retenu.

d) la formule de qualité des routes

L'usager intervient prioritairement lors de la spécification d'une formule de qualité pour les routes. Cette formule retourne toujours une valeur dans l'intervalle [0 , 1] et un échange est accepté dès qu'il permet d'augmenter cette valeur. Notons que les outils assurant la génération de la formule de qualité s'inspirent de techniques récentes en analyse de décision multicritères, techniques qui sont l'objet de la section 1.6.2.

1.6.2 L'opérateur d'échange: une approche multicritères

L'opérateur d'échange tel que défini précédemment s'intègre dans une perspective d'analyse de décision multicritères. Les critères retenus lors de la génération de la formule de qualité pour les routes sont :

c1) la longueur

c2) le nombre de routes.

c3) l'utilisation de la capacité du véhicule, i.e. demande totale / capacité du véhicule

c4) l'utilisation de la distance maximale autorisée pour le véhicule, i.e. longueur de la route / distance maximale du véhicule

c5) l'utilisation du temps de parcours maximal autorisé pour le véhicule, i.e temps de parcours / temps de parcours maximal du véhicule

c6) le temps d'arrivée du véhicule à chacun des arrêts

Fondamentalement, la technique utilisée afin de générer une formule de qualité consiste à combiner tous les critères en un critère unique modélisé sous la forme d'une fonction de qualité globale. Pour ce faire, des fonctions de qualité partielles sont construites pour chacun des critères retenus et la valeur retournée par la fonction globale équivaut à la somme des valeurs des fonctions de qualité partielles.

Dans le système, chaque fonction de qualité partielle est symétrique et est généralement définie par deux intervalles; soit un intervalle optimal, à l'intérieur duquel la valeur est jugée "idéale" pour le critère (i.e. correspondant à une qualité maximale) et un intervalle d'admissibilité, à l'extérieur duquel la valeur est jugée "inacceptable" (i.e. correspondant à une qualité nulle) (voir figure 16).

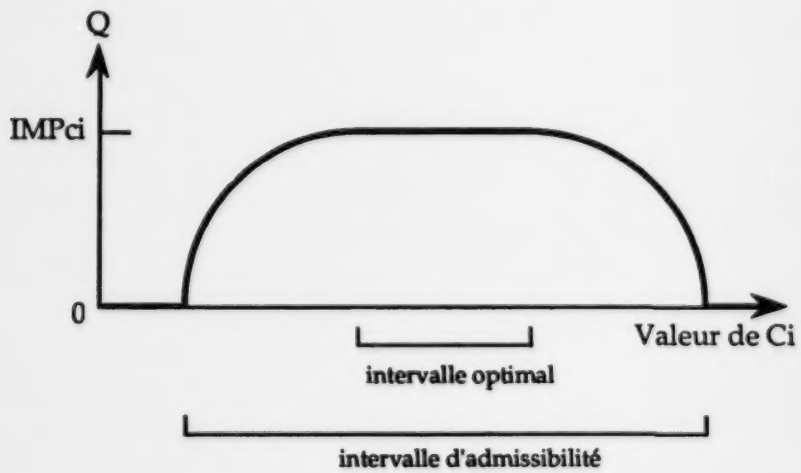


fig. 16 : Fonction de qualité partielle (Q) pour un critère Ci

Ainsi, les paramètres utilisés lors de l'évaluation d'une fonction de qualité partielle pour un critère donné ci sont :

a) le poids du critère ($POIDS_{ci}$)
Ce poids non négatif établit l'importance du critère en rapport avec les

autres. Evidemment, un critère est ignoré si son poids est nul. De façon plus précise, on établit l'importance du critère ci de la façon suivante :

$$IMPci = \frac{POIDS_{ci}}{\sum_{j=1}^{m} POIDS_{cj}}$$

où m = nombre de critères
ainsi : $IMPci \in [0, 1]$

b) l'intervalle optimun $[BINF_{ci}, BSUP_{ci}]$
C'est l'intervalle à l'intérieur duquel toute valeur est jugée idéale pour le critère considéré. Si l'on désire que cet intevalle corresponde à une valeur unique, il suffit de poser: $BINF_{ci} = BSUP_{ci}$.

c) l'écart maximal toléré par rapport à l'optimum $(ECARTmax_{ci})$
Ce paramètre permet de borner la fonction de qualité partielle. C'est en effet l'écart par rapport à l'optimum qui est utilisé afin d'évaluer la qualité du critère. Si l'écart égale 0 alors la qualité est égale à IMP_{ci} ; alors que si l'écart dépasse $ECARTmax_{ci}$ la qualité vaut 0. L'intervalle d'admissibilité est donc :
$[BINF_{ci}-ECARTmax_{ci}, BSUP_{ci}+ECARTmax_{ci}]$)

d) des multiplicateurs d'écart $(PENAL1_{ci}$ et $PENAL2_{ci})$
Si la valeur du critère ci appliqué à un objet o est moindre que la borne inférieure de l'optimum, on retient l'écart suivant:

$$ECART_{cio} = PENAL1_{ci} * (BINF_{ci} - VALEUR_{cio}).$$

Si la valeur du critère ci appliqué à un objet o est plus grande que la borne supérieure de l'optimum, on retient:

$$ECART_{cio} = PENAL2_{ci} * (VALEUR_{cio} - BSUP_{ci})$$

Les multiplicateurs permettent ainsi de pénaliser davantage tout écart par rapport à l'optimum et de réduire en proportion la qualité du critère. Ils peuvent s'avérer utiles si un écart présente une signification différente selon que l'on est au-dessus ou en-dessous de l'optimum. Par défaut, la valeur des multiplicateurs est fixée à 1.

e) un ensemble d'objets (E_{ci})

Le critère ci est appliqué à chacun des objets présents au sein de l'ensemble E_{ci}. Pour les six critères de base précédemment mentionnés, nous avons:

i) longueur et nombre de routes (réf. critères c1 et c2):
E_{ci} = ensemble des routes.

ii) utilisation de la capacité, du temps de parcours maximal ou de la distance maximale (réf. critères c3, c4 et c5):
E_{ci} = ensemble des véhicules.

iii) temps d'arrivée (réf. critère c6):
E_{ci} = ensemble des arrêts.

A l'aide de ces paramètres, il devient possible de créer une fonction de qualité partielle fci. Cette fonction, qui retourne la qualité du critère ci, se définit ainsi:

$$f_{ci}(x_{ci}) = IMP_{ci} * (1 - x_{ci}^2) \quad \text{si } x_{ci} \in [0, 1]$$
$$= 0 \quad \text{sinon}$$

où

$$xci = \frac{1}{|E_{ci}|} \sum_{o \in E_{ci}} \left(\frac{ECART_{ci}(o)}{ECARTmax_{ci}} \right)^n$$

$ECART_{cie}$ = si $VALEUR_{cio} < BINF_{ci}$ alors
$PENAL1_{ci} * (BINF_{ci} - VALEUR_{cio})$

si $VALEUR_{cio} > BSUP_{ci}$ alors
$PENAL2_{ci} * (VALEUR_{cio} - BSUP_{ci})$

sinon 0

n = 1 si on désire obtenir une moyenne linéaire
= 2 si on désire obtenir une moyenne quadratique

Comme on le voit, la qualité du critère ci, qui correspond à la valeur retournée par la fonction de qualité partielle fci, se trouve toujours dans l'intervalle [0 , IMPci]. La fonction de qualité globale f étant additive, nous avons :

$$0 \leq f(x_{c1}, \ldots, x_{cm}) = \sum_{i=1}^{m} f_{ci}(x_{ci}) \leq \sum_{i=1}^{m} IMP_{ci} = 1$$

où m = nombre de critères.

La formule de qualité des routes dont il a été fait mention n'est autre que cette fonction globale définie à l'aide des six critères précédemment mentionnés et appliquée à la solution courante. Cette formule retourne donc toujours une valeur comprise entre 0 et 1 et la valeur croît lorsque la qualité augmente.

1.7 Conclusion

Notons en conclusion, que les cinq opérateurs de base sont indépendants les uns des autres. De ce fait, ils ne sont soumis à aucune séquence d'activation prédéfinie. Lors de la résolution d'un problème, l'usager est ainsi en mesure d'appliquer les divers opérateurs dans l'ordre qui lui convient, la seule restriction provenant du fait que le premier opérateur de la séquence se doit d'être l'opérateur INIT.

SECTION 2. Exemple d'utilisation du système *Alto*

Cette section présente les diverses étapes nécessaires à la création et à la résolution de problèmes de génération de tournées, dans l'environnement du système *Alto*. Comme nous l'avons vu dans l'introduction, une séquence "normale" d'événements consiste:

i) à créer un réseau de transport. Il s'agit en l'occurence de créer un ensemble de noeuds et d'arcs qui représenteront respectivement les intersections et les rues d'un réseau de transport (en supposant que l'on se trouve dans un contexte urbain);

ii) à définir un problème de génération de tournées:
- localiser un dépot et un ensemble d'arrêts sur ce réseau;
- déterminer les diverses contraintes que l'on désire associer aux arrêts (p.e. demande, cadre horaire);
- créer une flotte de véhicules et l'associer au dépot;

iii) à résoudre ce problème à l'aide des techniques algorithmiques qui sont offertes.

Afin que l'usager se familiarise avec la philosophie de travail du système *Alto*, nous allons suivre chacune de ces étapes au moyen d'un exemple très simple.

Voyons d'abord comment sont représentés les différents éléments d'un graphe:

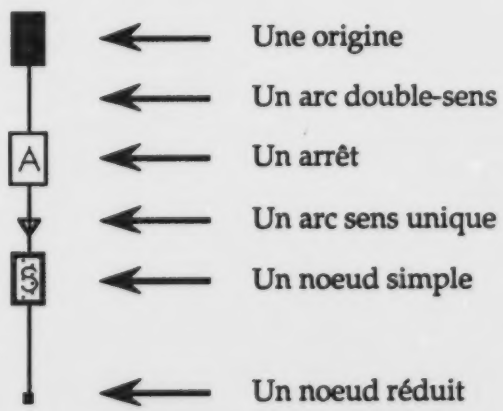


fig. 17 : Les éléments d'un graphe

2.1 Création d'un réseau et définition du problème

Supposons que l'on désire reproduire le problème de la figure 19. Celui-ci contient 4 noeuds, dont un est le dépot (noeud 2 en noir) et les 3 autres sont des arrêts (noeuds 1, 3 et 4) . Ces noeuds sont reliés par 5 arcs à double sens. Nous utiliserons cet exemple tout au long de cette démonstration. Notons que vous pourrez toujours vous référer à la section 3 de ce manuel, pour obtenir plus de détails sur l'utilisation des différents menus qui appaîtront au cours de cette démonstration.

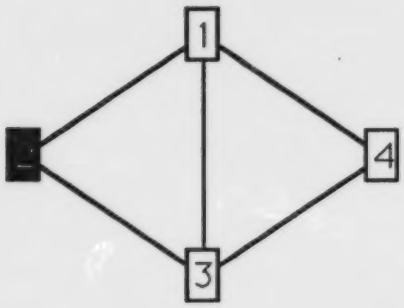


fig. 18 : Exemple d'un problème de tournée

2.1.1 Création des noeuds et des arcs du réseau de transport

Pour créer des noeuds ou des arcs :

a) Sélectionner la fenêtre du réseau (voir figure 1) en cliquant dans la barre qui se trouve en haut de celle-ci;

Pour editer les objets du graphe, on utilise la pallette d'édition montrée à la figure 20. Elle permet, entre autres, d'ajouter des noeuds et des arcs, ainsi que de les détruire.

Pour créer un noeud:

b) Sélectionner l'option **Ajouter Noeud**;

c) Positionner le curseur à l'endroit où on désire le noeud;

d) Appuyer sur le bouton de la souris, pour fixer le noeud.

Pour créer un arc:

b') Sélectionner l'option **Ajouter Arc**;

c') Déterminer le noeud origine de l'arc, en positionnant la souris sur le noeud origine choisi, puis appuyer sur le bouton de la souris;

d') Déterminer le noeud destination de l'arc, en positionnant la souris sur le noeud destination choisi, puis appuyer sur le bouton de la souris;

fig. 19 : la palette d'édition du graphe

Notons que pour créer un arc à double sens, il suffit de répéter l'opération précédente en inversant le noeud origine et le noeud destination. Après avoir créé les 4 noeuds et les 5 arcs, on obtient le résultat de la figure 21.

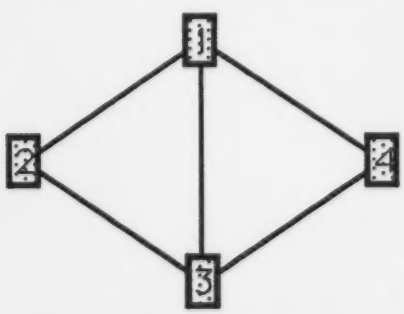


fig. 20 : Le graphe avant transformation des noeuds

2.1.2 Transformation du noeud 2 (gris) en origine (noir)

Pour transformer le noeud 2 en origine:

a) Placer la souris sur le noeud 2, puis appuyer deux fois de suite, rapidement, sur le bouton: ceci fait apparaître une fenêtre de dialogue pour ce noeud simple (voir figure 22 (a)).

Celle-ci contient l'ensemble des propriétés rattachées au noeud 2, soit le type de l'objet (que l'on désire changer en ORIGINE), le numéro du noeud, l'identificateur, les coordonnées (X et Y), ainsi qu'un ensemble de propriétés associées à l'affichage du noeud 2.

Après avoir changé le type du noeud en ORIGINE, en cliquant sur le bouton "O origine", une sous fenêtre apparaît permettant de gérer la flotte de véhicules (voir figure 22 (b)).

Pour créer un véhicule:

b) Déterminer d'abord l'identificateur qui lui sera attribué. Supposons, dans notre exemple, que l'on désire créer un véhicule dont le nom est V1; on écrit V1 dans la case ident, puis on effectue la commande **Créer**. Le véhicule est alors mis dans la liste **Véhicules** et une mise à jour est apportée à la fenêtre.

Pour associer ce véhicule à l'origine (de façon à ce que celui-ci devienne "actif", et puisse être utilisé afin de desservir les arrêts):

d) Placer la souris sur l'identificateur V1, puis cliquer. Effectuer ensuite la commande **Associer**.

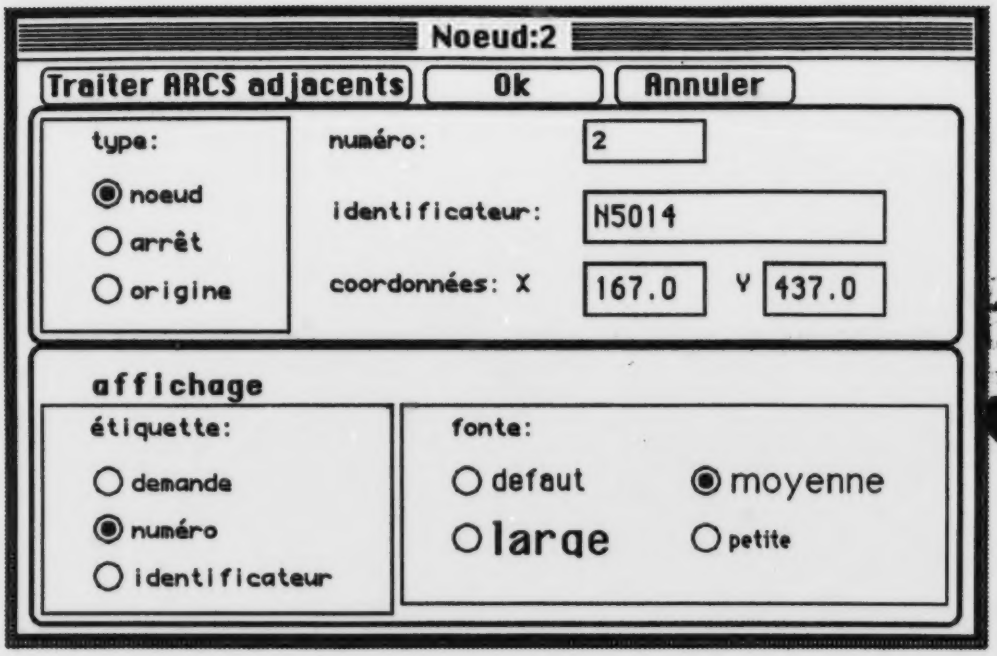


fig. 21-a : Edition d'un noeud simple

Finalement, pour accepter la transformation du noeud 2 en origine:

e) Sélectionner la commande **Ok** située dans l'en-tête de la fenêtre. Notons que pour annuler cette transformation, on sélectionne la commande **Annuler**, située elle aussi dans l'en-tête.

2.1.3 Transformation des noeuds (gris) 1,3 et 4 en arrêts (blancs)

Pour transformer un noeud en arrêt:

a) Placer la souris sur le noeud à transformer, appuyer deux fois, rapidement, sur le bouton. Ceci fait apparaître une fenêtre de dialogue pour un noeud simple (voir figure 21 (a)).

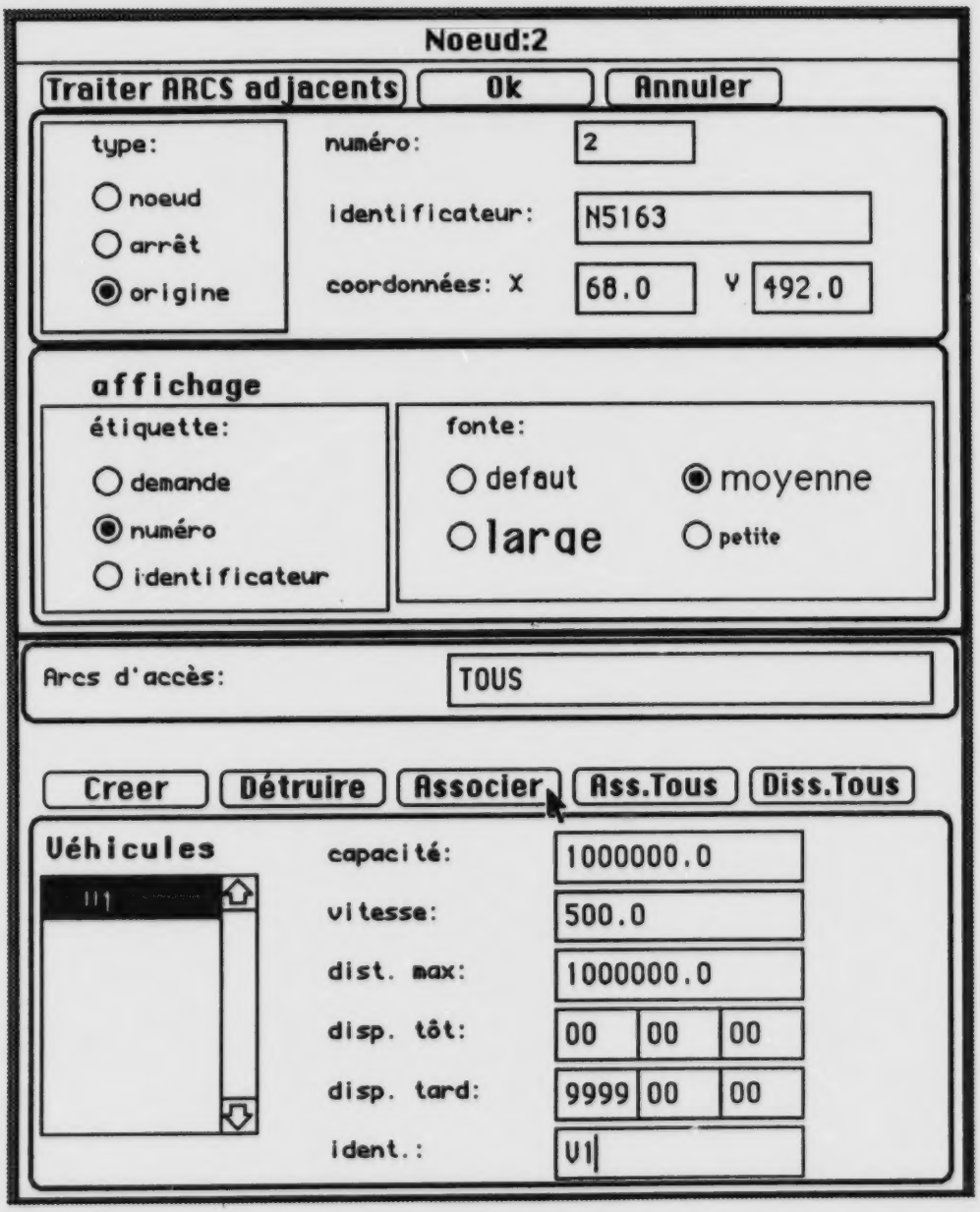


fig. 21-b : Edition d'une origine

Celle-ci contient l'ensemble des propriétés rattachées au noeud choisi, incluant son type. On change le type en ARRET, en cliquant sur le bouton "○ arrêt", et l'ensemble des propriétés associées à un arrêt apparaissent (p.e. demande, cadre horaire) (voir figure 23).

b) Il faut ensuite déterminer la valeur de chacune des propriétés associées à l'arrêt. Nous supposons, dans notre exemple, que la demande est de 1.0 unité, que le temps alloué pour recueillir cette demande est de 1 minute (TEMPS DE SERVICE = 00:01:00), et que l'on

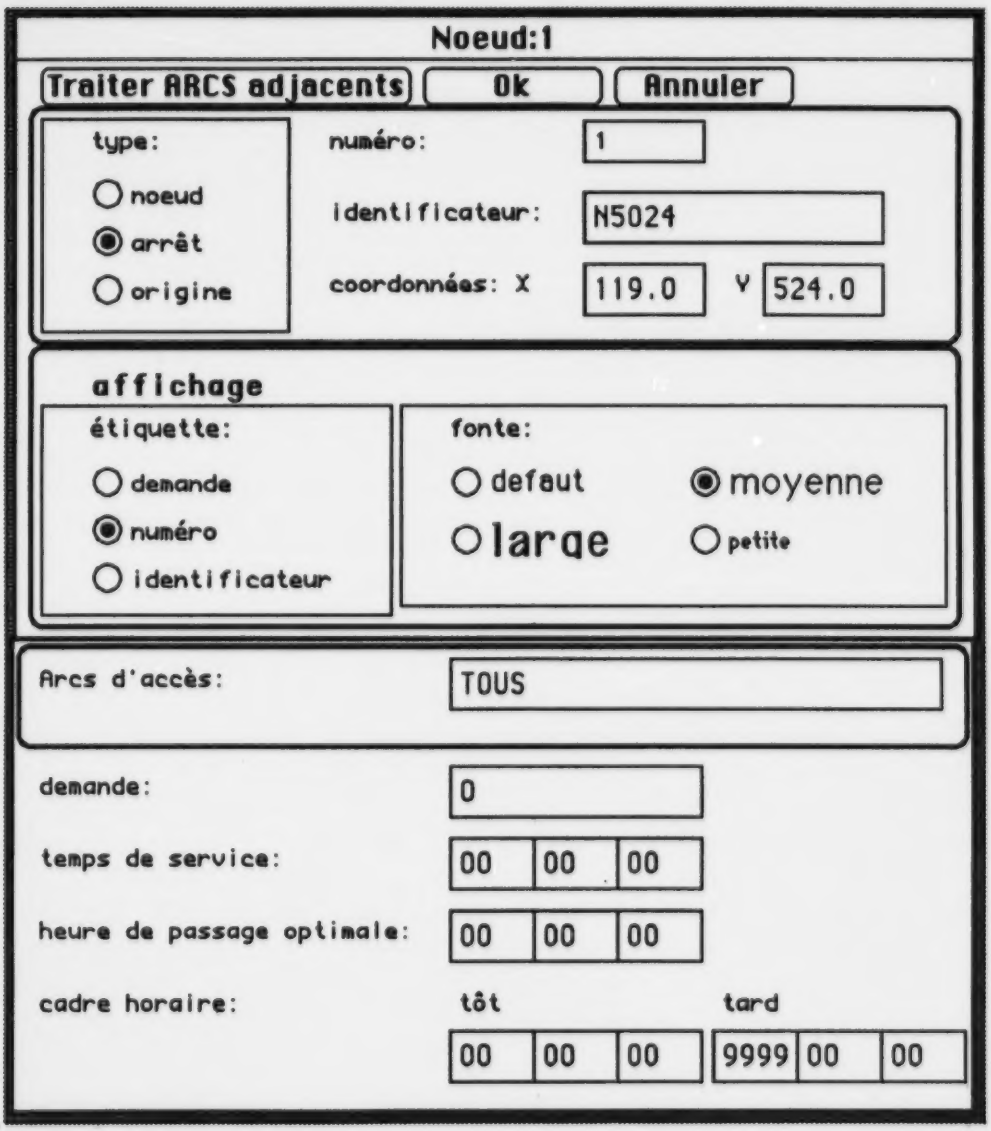


fig. 22 : Edition d'un arrêt

ne spécifie aucune contrainte horaire (HEURE DE PASSAGE OPTIMALE = NIL, CADRE HORAIRE (TOT = NIL et TARD = NIL)).

Finalement, pour accepter la transformation du noeud en arrêt:

c) Sélectionner la commande **Ok**.

Normalement, après avoir appliqué cette procédure sur les noeuds 1, 3 et 4, on doit obtenir le résultat présenté à figure 19.

2.2 Résolution du problème créé

Afin de résoudre le problème crée (voir figure 19), l'usager doit d'abord créer une table de distances. Celle-ci contient la longueur des plus courts chemins entre tous les arrêts du réseau, incluant l'origine. Cette table permet d'accéder rapidement à la distance (i.e. longueur du plus court chemin) entre les divers arrêts, évitant ainsi l'obligation de recalculer continuellement cette distance lors de l'application d'un algorithme de résolution. Cette table de distances est obtenue en utilisant l'algorithme de Dijkstra.

2.2.1 Création de la table de distances

Pour créer une table de distances:

a) Choisir la commande "**Table de distances**" dans le menu **Globale** (voir figure 24);

fig. 23 : Le menu d'édition globale

Suite à cette sélection la fenêtre suivante apparaît:

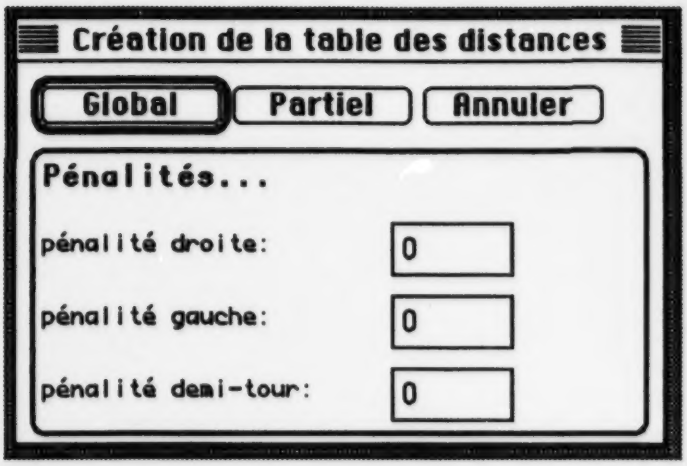


fig. 24 : Création de la table des distances

b) Déterminer les diverses pénalités, soit les pénalités qui seront ajoutées aux plus courts chemins pour chaque virage à gauche, virage à droite ou demi-tour. Nous supposons, dans notre exemple, qu'aucun virage n'est pénalisé;

Finalement,

c) Sélectionner la commande **Global**, pour créer la table de distances.

Nous sommes maintenant prêts à passer à l'étape fondamentale du processus, soit l'étape de résolution du problème généré à l'aide de l'heuristique générale.

2.2.2 Résolution du problème généré

Pour résoudre ce problème, nous utiliserons un algorithme d'insertion au plus loin ("Farthest Insertion") (ref. [1]):

i) Initialisation de la route: on sélectionne l'arrêt qui se trouve le plus loin de l'origine;

ii) Insertion des arrêts libres dans la route: on sélectionne l'arrêt libre qui se trouve le plus loin de la route, et on l'insère dans la route de façon à minimiser le détour. On répète tant qu'il reste des arrêts libres.

En terme des opérateurs de base, cet algorithme peut être spécifié ainsi:

INIT "Distance Max"
SE-AL ← E-AL ;
NbRoutes ← 1 ;
Tantque **NbRoutes** > 0 et qu'il reste des véhicules disponibles, faire
S ← (MAXOBJ AL SE-AL (P.DIST O AL)) ;
V ← (RANDOBJ E-VL) ;
créer une route où les germes **S** sont desservis par le véhicule **V**;
SE-AL ← **SE-AL** - **S**;
NbRoutes ← **NbRoutes** - 1;

Contraintes: aucune (Lambdi tous à NIL)

AJOUT "Insertion au plus loin"
SE-AL ← E-AL ;
Tant que **SE-AL** est non-vide, faire
R1 ← NIL ;
AL ← (MAXOBJ AL SE-AL
(MINVAL AR E-AR (P.DIST AR AL)) ;
R2 ← NIL ;
AR ← (MINOBJ AR E-AR
(P.DETOUR AR AL (P.SUCC AR))) ;
Sortir et terminer si NIL est différent de NIL;
Si l'insertion de **AL** respecte les contraintes alors
insérer **AL** après **AR**
Sinon
traiter **AL** selon mode libre ;
retirer **AL** de **SE-AL**;

Contraintes: aucune (Lambdi tous à NIL)

Afin de reproduire les modèles instanciés présentés ci-dessus, il nous faut utiliser le menu **Heuristique** du menu principal (voir figure 26). Notons qu'il y a un sous-menu rattaché à chacune des options présentes au sein de ce menu (voir figure 26). Pour accéder à un sous-menu, il suffit d'appuyer sur

le bouton de la souris et déplacer la souris à l'extrême droite du menu, vis à vis l'option choisie.

Pour définir l'opérateur de base INIT:

a) Choisir l'option "**Définir...**", dans le sous-menu **Init** du menu **Heuristique**, illustré à la figure 26. Ceci fait apparaître la fenêtre de la figure 27.

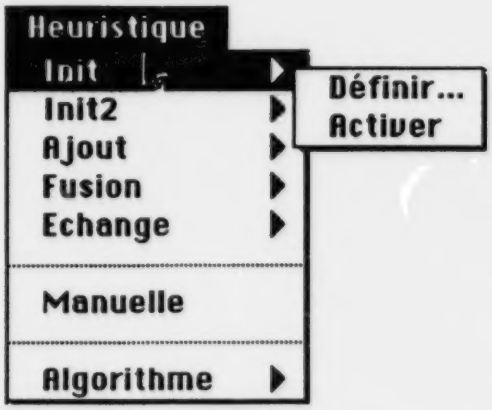


fig. 25 : Le menu **Heuristique** et le sous-menu **Init**

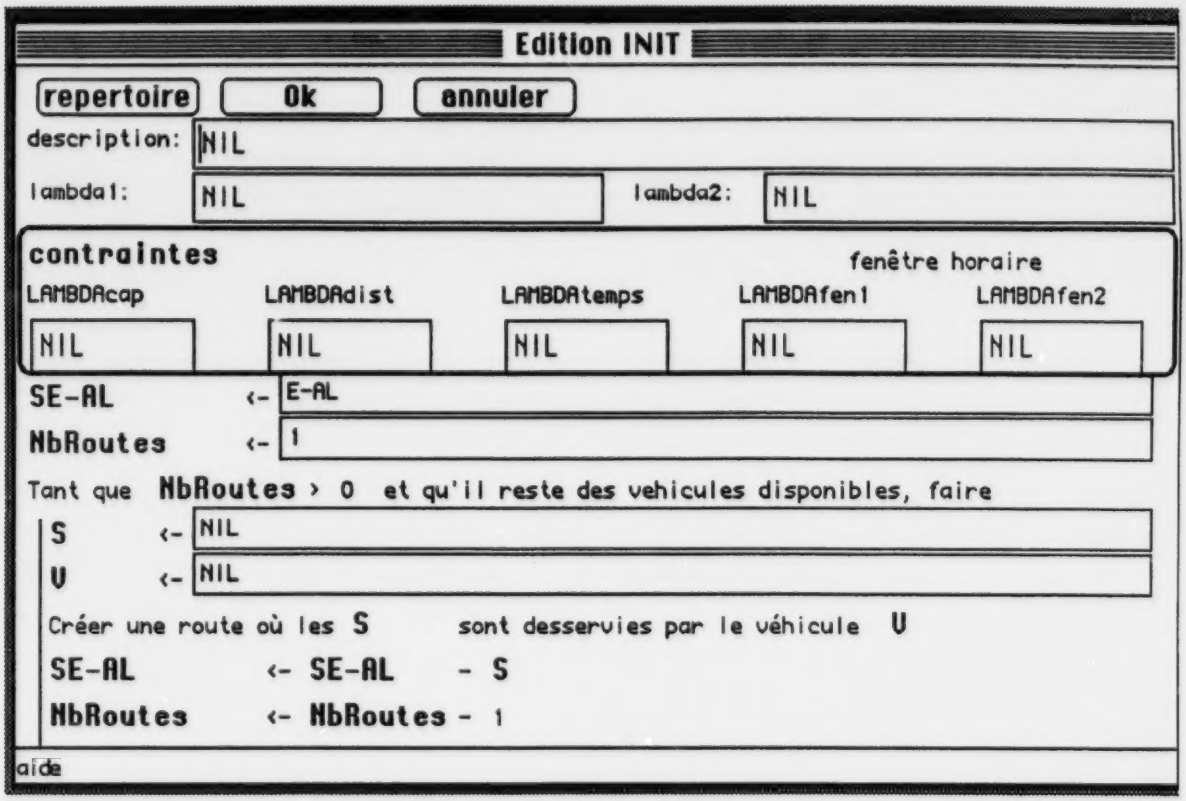


fig. 26 : Fenêtre d'édition d'INIT

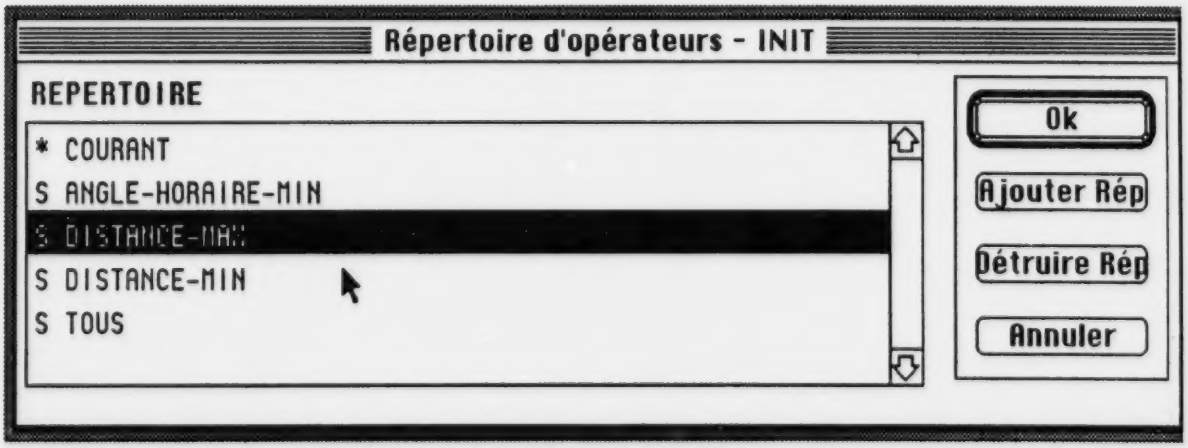


fig. 27 : Le répertoire pour INIT

b) Sélectionner la commande **répertoire**, ce qui fait apparaître la fenêtre de la figure 28. Sélectionner ensuite l'entrée système "S DISTANCE-MAX" dans le répertoire de l'opérateur, puis la commande **Ok**, ce qui met à jour la définition de l'opérateur INIT (figure 28).

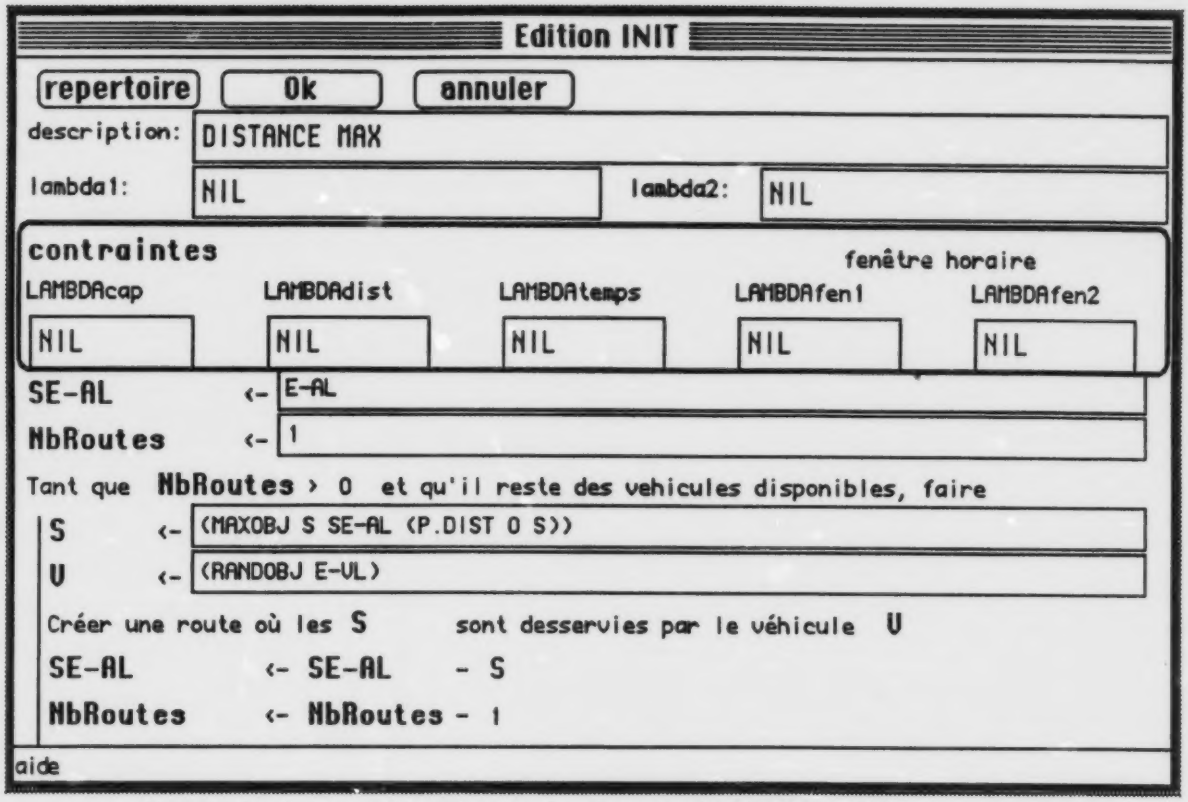


fig 28 : La fenêtre d'INIT après la choix de DISTANCE-MAX

Finalement, pour accepter la nouvelle instanciation de l'opérateur INIT:

c) Sélectionner la commande **Ok** dans la fenêtre d'INIT;

Pour définir l'opérateur de base AJOUT:

a) Choisir l'option "**Définir**", qui correspond à une option du sous-menu associé à la sélection **Ajout** (menu **Heuristique**, figure 26). Ceci fait apparaître la fenêtre de la figure 29.

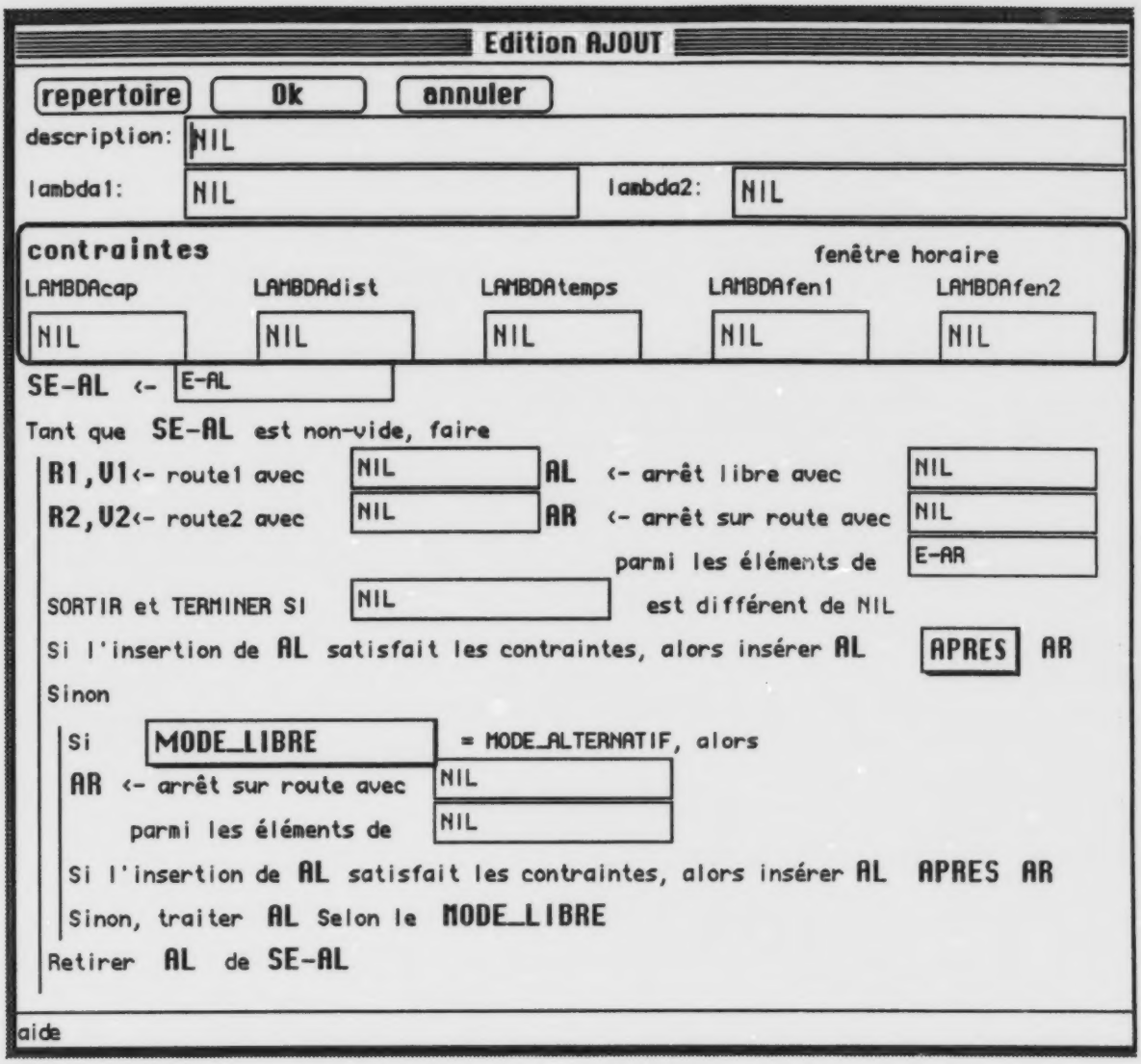


fig. 29 : Fenêtre d'edition d'AJOUT

b) Sélectionner l'entrée système "S INSERTION-AU-PLUS-LOIN" dans le répertoire de l'opérateur (voir figure 30), ce qui met à jour la définition de l'opérateur AJOUT (voir figure 31);

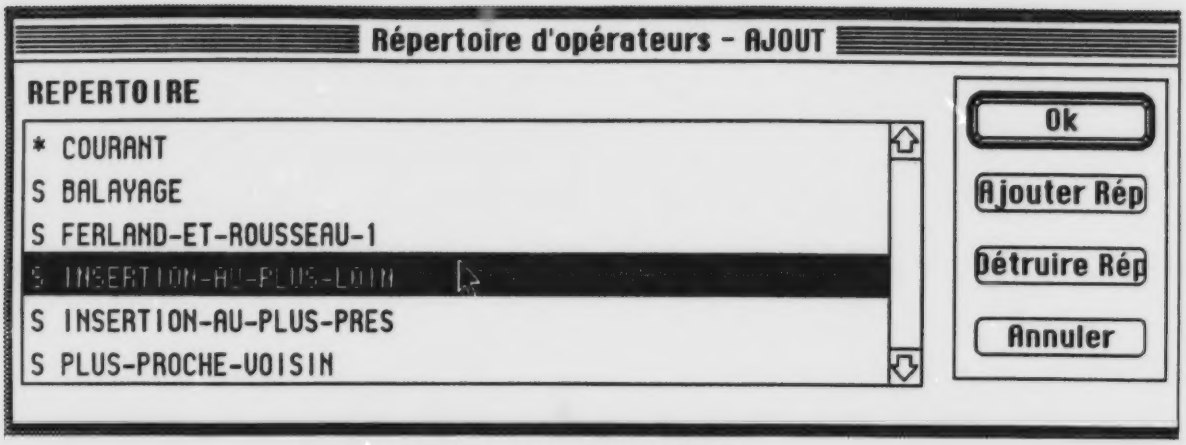


fig 30 : Le répertoire pour AJOUT

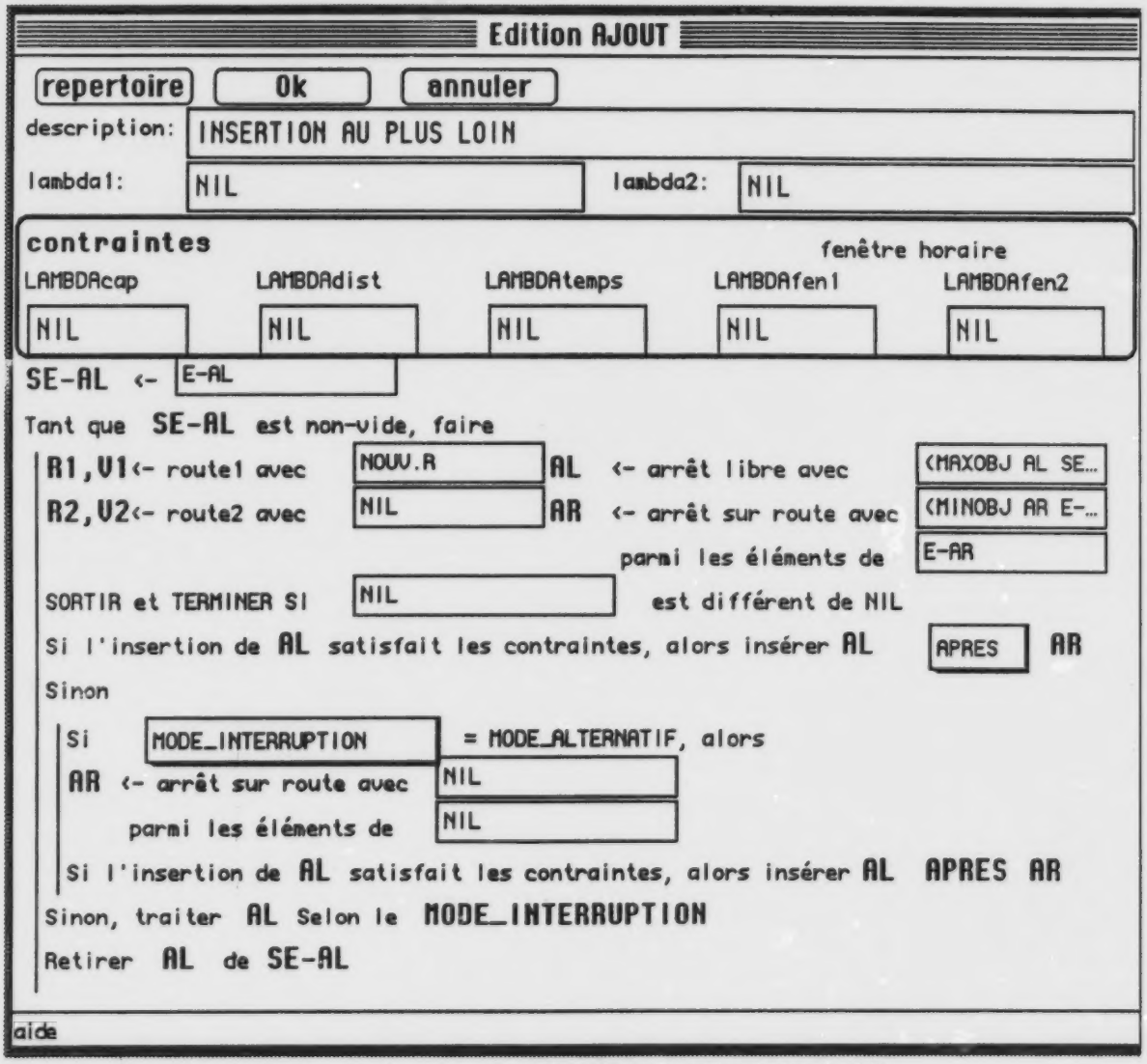


fig 31 : AJOUT après le choix de INSERTION-AU-PLUS-LOIN

Finalement, pour accepter la nouvelle instanciation de l'opérateur AJOUT:

c) Sélectionner la commande **Ok** dans chacune des fenêtres;

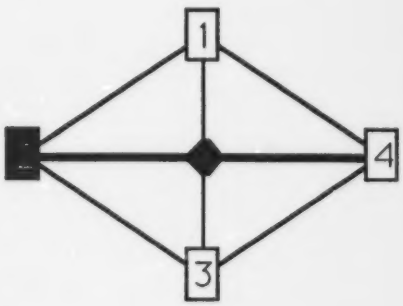
Il faut maintenant activer nos deux opérateurs pour que soit créée la solution correspondant aux définitions choisies.

Premièrement, pour activer l'opérateur INIT:

a) Sélectionner l'option "**Activer**" du sous-menu **Init** (menu **Heuristique**, figure 26);

Suite à l'activation de l'opérateur INIT, le résultat est imprimé dans la fenêtre des résultats (voir figure 30 (a)), et la solution obtenue apparaît en traits gras dans la fenêtre du réseau (voir figure 30 (b)).

```
-----page 2-----
RESULTATS suite à l'application de INIT

TOTAL
Nb Routes            : 1

Durée totale         : 00:00:38
Longueur totale      : 320.86 mètre(s)
Nb d'arrêts libres   : 2

Arrêts libres        :

     (1 3)
```



(a) résultats (b) route tracée

fig. 32 : solution obtenue après INIT

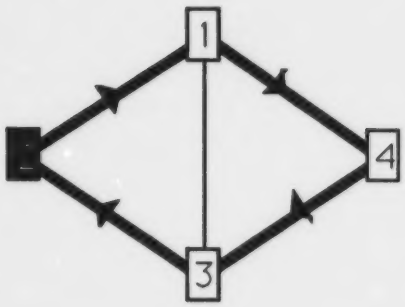
Deuxièmement, pour activer l'opérateur AJOUT:

b) Sélectionner l'option "**Activer**" du sous-menu **Ajout** (menu **Heuristique**);

Suite à l'activation de l'opérateur AJOUT, le résultat est imprimé dans la fenêtre des résultats (voir figure 31 (a)), et la solution obtenue apparaît en traits gras dans la fenêtre du réseau (voir figure 31 (b)).

```
-----page 1-----
RESULTATS suite à l'application de AJOUT

TOTAL
Nb Routes           : 1

Durée totale        : 00:00:38
Longueur totale     : 324.45 mètre(s)
Nb d'arrêts libres  : 0

Arrêts libres       :

     NIL
```

(a) résultats



(b) route tracée

fig. 33 : solution obtenue après AJOUT

Notons qu'il y a plusieurs autres options disponibles dans l'environnement du système *Alto*, telle la gestion de la solution produite, la sauvegarde du problème (i.e. fichier du réseau, des arrêts, des véhicules, ainsi que la table de distances). Toutes ces options sont décrites dans les sections qui suivent.

SECTION 3. Le menu d'édition du réseau

Le menu d'édition sert essentiellement à manipuler directement les divers objets graphiques d'un réseau, soit les NOEUDS, les ARCS. C'est dire que l'usager peut, à l'aide de ce menu, créer, détruire ou déplacer ces objets.

Le menu d'édition du réseau peut apparaître sous deux formes différentes: soit sous celle d'un menu McIntosh classique, soit sous la forme d'une "palette d'outils". L'usager peut choisir la forme qu'il préfère de la façon suivante:

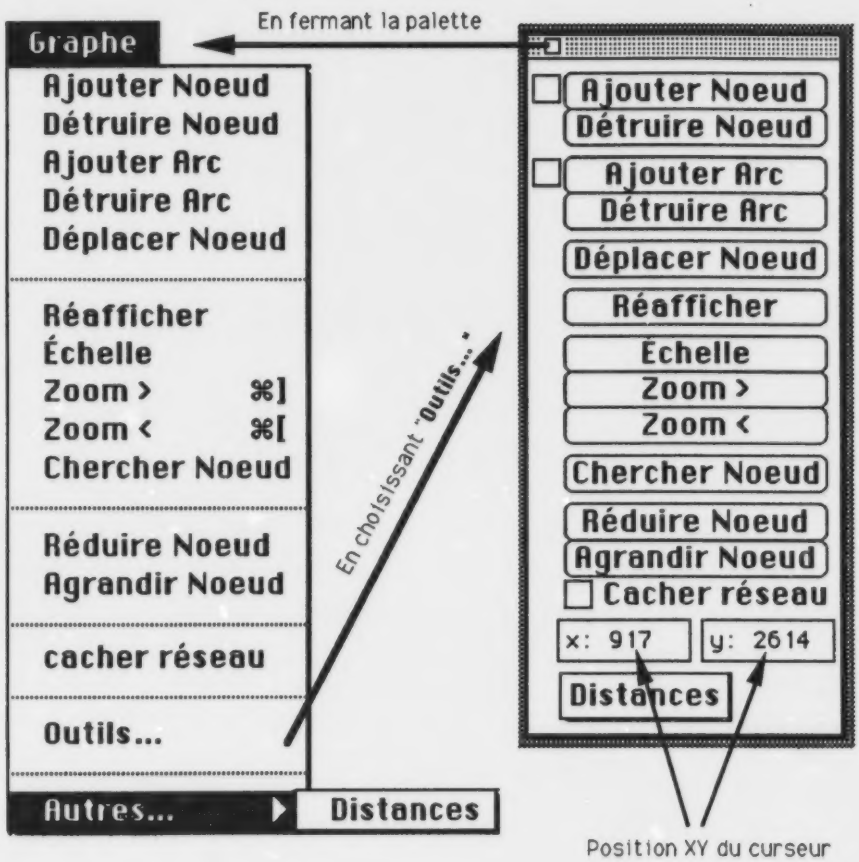


fig. 34 : Le menu Graphe et la palette d'outils correspondante

a) **Ajouter Arc**

Permet de créer un nouvel arc entre deux noeuds. Après avoir retenu cette sélection, il faut se positionner à l'aide de la souris sur le noeud d'origine de l'arc, puis appuyer sur le bouton de la souris. Par la suite, il faut se positionner sur le noeud destination de l'arc et de nouveau

appuyer sur le bouton. Notons que lorsqu'un arc est ajouté entre deux noeuds déjà reliés par un arc, et que le sens de ce nouvel arc est inversé par rapport à l'arc original, la flèche sur l'arc se dédouble (elle va disparaitre lors d'un réaffichage).

b) **Ajouter Noeud**
Permet de créer un nouveau noeud. Après avoir retenu cette sélection, il faut se positionner à l'endroit où l'on veut placer le nouveau noeud, puis appuyer sur le bouton de la souris.

c) **Détruire Arc**
Permet de détruire un arc. Après avoir retenu cette sélection, il faut se positionner à l'aide de la souris sur le noeud d'origine de l'arc, puis appuyer sur le bouton de la souris. Par la suite, il faut se positionner sur le noeud destination de l'arc et, de nouveau, appuyer sur le bouton.

d) **Détruire Noeud**
Permet de détruire un noeud, un arrêt ou une origine. Après avoir retenu cette sélection, il faut se positionner sur le noeud que l'on veut détruire et appuyer sur le bouton.

e) **Déplacer Noeud**
Permet de déplacer un noeud, un arrêt ou une origine. Après avoir retenu cette sélection, il faut se positionner sur le noeud de son choix et appuyer sur le bouton de la souris sans le relâcher. Déplacer le curseur vers le nouvel emplacement et relâcher le bouton.

f) **Réafficher**
Provoque le réaffichage du graphe.

g) **Echelle**
Sert a changer l'échelle de l'affichage du graphe; l'échelle de défaut est égale à 1.0 .

h) **Zoom >** et **Zoom <**
Zoom > augmente l'échelle de 4/3; alors que **Zoom <** la réduit du même facteur.

i) **Chercher Noeud**
Fait apparaître un dialogue où l'usager peut entrer le numéro ou

l'identificateur du noeud qu'il cherche. Ce noeud sera alors centré dans la fenêtre du graphe.

j) **Réduire Noeud** et **Agrandir Noeud**
Réduire noeud transforme les noeuds en de simples points; **Agrandir Noeud** leur redonne leur apparence normale.

k) **Cacher Réseau**
Cette option permet de n'afficher que les arrêts et l'origine du graphe.

l) **Outils...**
Permet de remplacer le menu d'édition par la palette d'outils.

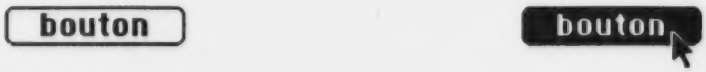
m) **Distances**
Permet de lister la distance entre deux arrêts. Pour ce faire l'usager doit d'abord sélectionner les deux arrêts, puis exécuter **Distances**. La distance sera imprimée dans la fenêtre **Affichage**.

SECTION 4. Considérations générales au sujet des dialogues

Une fenêtre de dialogue est une fenêtre regroupant l'ensemble des propriétés rattachées à un objet (ARRET, NOEUD, OPERATEUR, ORIGINE, RESEAU, SOLUTION), et permet à l'usager de les consulter ou de les modifier. Notons qu'une fenêtre de dialogue peut contenir six types différents de champs, ayant chacun une action précise. Ces champs peuvent être sélectionnés en positionnant la souris sur le champ désiré et en appuyant sur un bouton. Examinons maintenant la présentation physique de ces différents champs à l'écran, ainsi que leur action.

a) Commentaire: `texte servant à décrire ou à expliquer un champ.`

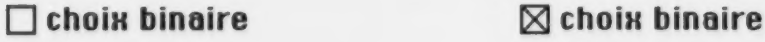
b) Bouton à simple action:



inactif sélectionné

Conduit à l'application d'une action, soit l'exécution d'une commande, ou l'ouverture d'un sous-menu ou d'une sous-fenêtre de dialogue. Ce bouton se présente sous la forme d'un texte entouré d'une boîte aux coins arrondis (voir la figure ci-dessus).

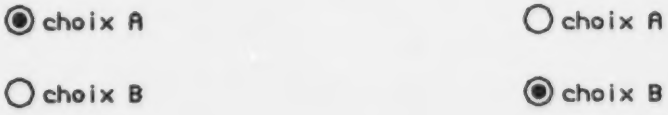
c) Bouton de choix binaire:



désactivé activé

Permet d'activer ou de désactiver une option. Ce bouton se présente sous la forme d'un carré, suivi d'un texte. L'option est active lorsqu'il y a un x dans la boîte, et elle est inactive lorsque la boîte est vide (voir la figure ci-dessus).

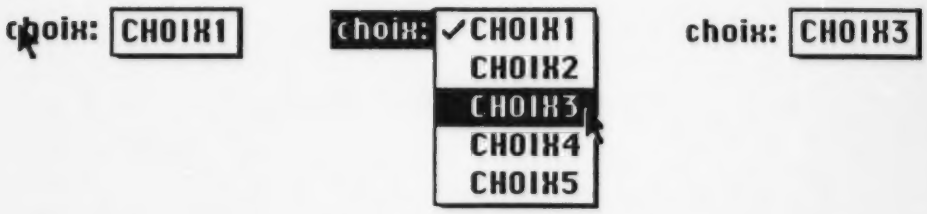
d) Boutons d'options multiples:



avec A sélectionné avec B sélectionné

Permet de sélectionner un élément dans un ensemble de possibilités mutuellement exclusives (voir la figure ci-dessus).

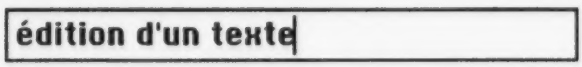
e) Choix multiple:



le **CHOIX1** est actif on choisit **CHOIX3** **CHOIX3** devient actif

Permet de choisir une option parmi une liste de possibilités. Ce bouton se présente sous la forme d'un titre suivi du choix courant. Une liste de choix possibles apparaît lorsque l'on clique dessus, et l'on peut alors choisir une nouvelle alternative. Notons que le choix sélectionné sera sur un fond noir (voir la figure ci-dessus - où l'on sélectionne **CHOIX3**).

f) Edition:



Champ dans lequel l'usager peut taper une chaîne de caractères (e.g. une formule). Il se présente sous la forme d'un cadre étroit indiquant le nombre maximal de caractères qu'il peut contenir (voir la figure ci-dessus).

Une fenêtre de dialogue contient toujours une section regroupant l'ensemble des commandes, soit au niveau de l'en-tête de la fenêtre (une section grise située au haut de la fenêtre). Elles se retrouvent soit au sein de la section des commandes, située en haut à droite dans la fenêtre. On retrouve entre autres, deux commandes principales dans cette section: la commande **Ok** qui permet l'exécution de l'action exigée par la fenêtre (e.g. créer une table de distances, modifier les propriétés associées à un arrêt ou un véhicule; remplacer un opérateur, une solution, etc...), et la commande **Annuler**, qui permet d'annuler l'action.

SECTION 5. Les fenêtres de dialogue pour l'édition des noeuds

Les dialogues que nous présentons dans cette section servent à manipuler les propriétés des objets d'un réseau, soit les NOEUDS, les ARCS, les ARRETS, les ORIGINES ou les VEHICULES. C'est dire que l'usager peut éditer les propriétés associées à chaque objet (e.g. la demande à un arrêt, la capacité d'un véhicule), associer ou dissocier un ou plusieurs véhicules de l'origine, etc... Pour effectuer ces différentes tâches, nous employons les fenêtres de dialogue suivantes:

1 - DIALOGUE ARRET: permet la modification des diverses propriétés associées à un arrêt ainsi qu'à ses arcs adjacents. On ouvre cette fenêtre en double-cliquant lorsque le curseur se trouve sur un arrêt (blanc) .

2 - DIALOGUE NOEUD: permet la modification des diverses propriétés associées à un noeud ainsi qu'à ses arcs adjacents. On ouvre cette fenêtre en double-cliquant lorsque le curseur se trouve sur un noeud (gris).

3 - DIALOGUE ORIGINE: permet la modification des diverses propriétés associées à une origine ainsi qu'à ses arcs adjacents. Cette fenêtre permet aussi la modification des diverses propriétés associées aux véhicules libres ainsi qu'aux véhicules rattachés à cette origine. On ouvre cette fenêtre en double-cliquant lorsque le curseur se trouve sur une origine (noir).

5.1 Edition des propriétés associées à un NOEUD

Pour avoir accès à la fenêtre de dialogue qui permet l'édition des diverses propriétés associées à un noeud, il faut positionner le curseur sur un noeud simple (en gris) du réseau et double-cliquer, ce qui fait apparaître la fenêtre suivante:

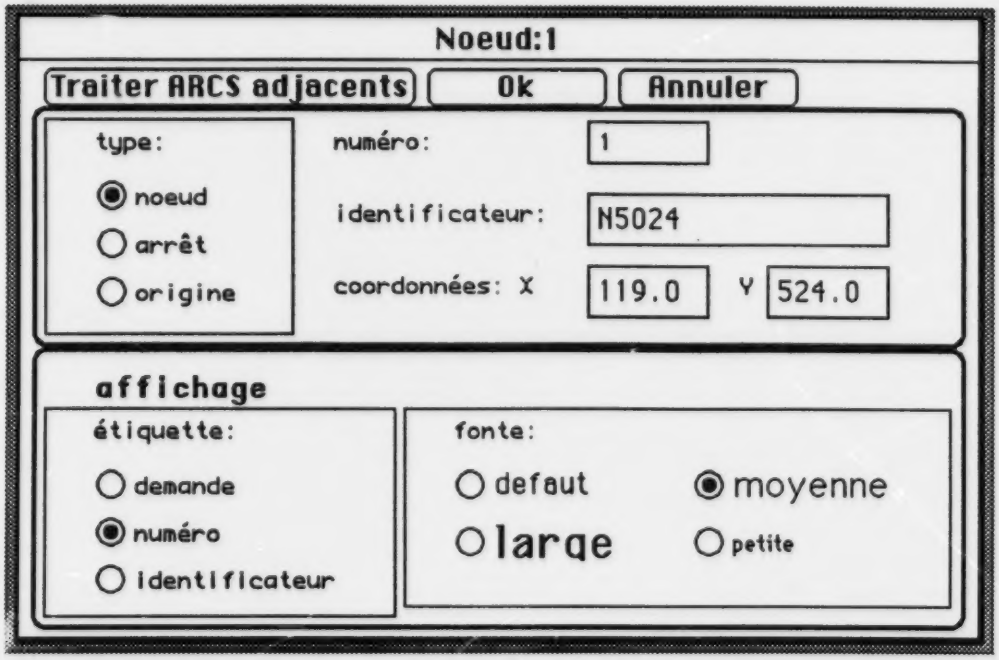


fig. 35 : édition d'un noeud simple

La gestion de cette fenêtre de dialogue respecte les règles définies à la section 3.1. Les commandes applicables à cette fenêtre sont: **Ok** qui permet de valider et de modifier les propriétés du noeud, **Annuler** qui permet de quitter cette sélection sans modifier le noeud, et **Traiter ARCS Adjacents** qui permet de modifier les propriétés associées aux arcs adjacents du noeud. L'usager peut transformer le noeud en arrêt ou en origine, ce qui a pour effet de faire apparaître un ensemble de nouvelles propriétés (voir les sections 3.2.3 et 3.2.4). D'autre part, l'usager peut modifier les propriétés suivantes:

a) Identificateur:
Nom du noeud.

b) Les coordonnées (X, Y) du noeud:
Coordonnées (en mètres) du noeud.

c) Propriétés associées à l'affichage du noeud:

étiquette:

Permet de modifier l'étiquette du noeud. Après avoir retenu cette sélection, il faut déterminer le type d'étiquette que l'on désire associer au noeud, en choisissant l'une des options suivantes:

demande: si TYPE = NOEUD alors le caractère N est utilisé comme étiquette;
si TYPE = ARRET alors la demande de l'arrêt est utilisé comme étiquette;
si TYPE = ORIGINE alors le caractère O est utilisé comme étiquette;

numéro le numéro du noeud est utilisé comme étiquette.

identificateur l'identificateur du noeud est utilisé comme étiquette.

fonte:

Permet de modifier la fonte de l'étiquette du noeud. Après avoir retenu cette sélection, il faut déterminer la taille de la fonte que l'on désire associer au noeud, en choisissant l'une des fontes suivantes:

- defaut ("geneva" 12 points)
- large ("geneva" 18 points, gras)
- moyenne ("geneva" 14 points)
- petite. ("geneva" 9 points)

Suite à la sélection de la commande **Traiter ARCS Adjacents**, la sous-fenêtre de dialogue suivante apparaît:

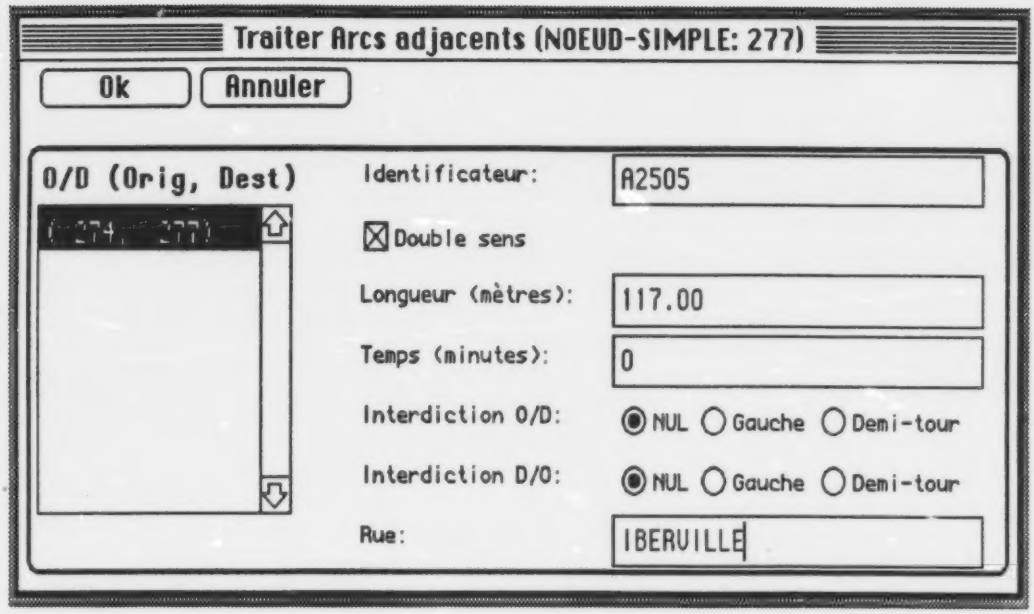


fig. 36 : La fenêtre **Traiter Arcs adjacents**

Cette sous-fenêtre présente l'ensemble des arcs adjacents ainsi que leurs propriétés. Notons que l'on retrouve l'arc sous la forme O/D (numéro du noeud origine, numéro du noeud destination). L'usager peut modifier les propriétés suivantes: l'identificateur, la longueur en mètres de l'arcs, le temps nécessaire pour parcourir l'arc (temps qui sera utilisé à la place du temps obtenu en utilisant la vitesse du véhicule, si ce temps est différent de zéro), le nom de la rue sur lequel on retrouve l'arc, ainsi que les interdictions de virage sur l'arc dans le sens O/D et dans le sens D/O (s'il est à double sens), soit `Gauche` pour interdir le virage à gauche, `Demi-tour` pour interdir le demi-tour (U-TURN) ou NUL pour n'interdire aucun type de virages.

5.2 Edition des propriétés associées à un ARRET

Pour avoir accès à la fenêtre de dialogue qui permet l'édition des diverses propriétés associées à un arrêt, il faut positionner le curseur sur un arrêt (en blanc) du réseau et double-cliquer, ce qui fait apparaître la fenêtre suivante:

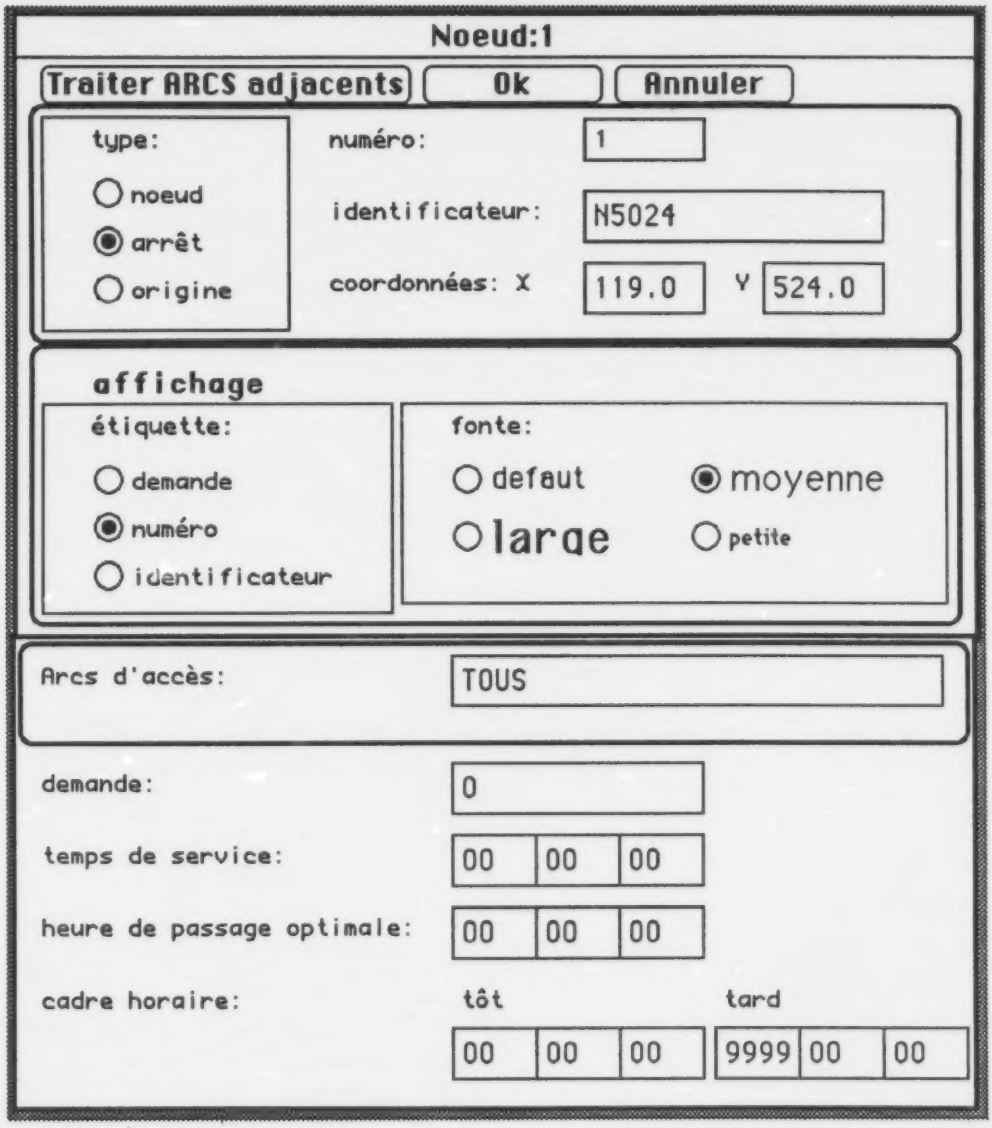


fig. 37 : édition d'un arrêt

Les commandes accessibles sont les même que celles utilisées dans la fenêtre DIALOGUE NOEUD (voir section 3.2.2). L'usager peut transformer l'arrêt en noeud ou en origine, ce qui aura pour effet de faire disparaître ou apparaître un ensemble de propriétés (voir les sections 3.2.2 et 3.2.4). L'usager

peut modifier, en plus des propriétés associées à un noeud, les propriétés spécifiques suivantes:

a) L'accès à l'arrêt:

Permet de restreindre l'accès à un ou deux arcs incidents. En cliquant sur la case des arcs d'accès on fait apparaître cette fenêtre:

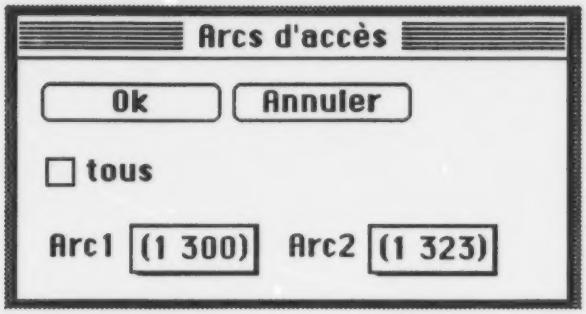


fig. 38 : Le choix des arcs d'accès

Ce dialogue contient deux listes d'arcs incidents (**Arc1** et **Arc2**) ainsi que le choix **tous**, qui permet de libérer l'accès à l'arrêt (i.e. tous les arcs incidents pourront être utilisés pour accéder à l'arrêt). Il suffit alors de choisir les arcs que l'on désire utiliser pour accéder à l'arrêt, ce qui met automatiquement la liste des arcs d'accès à jour. Finalement, pour quitter cette sélection, il suffit de de sélectionner **Ok**.

b) Propriétés associées spécifiquement aux arrêts :

demande (unités):
Permet de modifier la demande de l'arrêt. Après avoir choisi cette sélection, il faut entrer la demande (exprimée en unités).

temps de service:
Permet de modifier le temps alloué pour recueillir la demande à l'arrêt. Après avoir choisi cette sélection, il faut entrer le temps sous la forme hh:mm:ss. (e.g. si l'usager précise un temps de service de 00:03:30, il faudra 3 minutes, 30 secondes pour recueillir sa demande).

heure de passage optimale:
Permet de modifier l'heure de passage optimale à l'arrêt. Après avoir choisi cette sélection, il faut entrer l'heure sous la forme hh:mm:ss.

(e.g. si l'usager précise une heure de passage de 14:30, l'heure optimale de passage à l'arrêt sera de 14 heures, 30 minutes).

cadre horaire:
Permet de modifier le cadre horaire de l'arrêt. Après avoir choisi cette sélection, il faut entrer l'heure au plus tôt et l'heure au plus tard à laquelle on pourra desservir l'arrêt, sous la forme hh:mm:ss.

5.3 Edition des propriétés associées à une ORIGINE

Pour avoir accès à la fenêtre de dialogue qui permet l'édition des diverses propriétés associées à une origine, il faut positionner le curseur sur une origine (noir) du réseau et appuyer sur le bouton gauche de la souris, ce qui fait apparaître la fenêtre de la figure 35. Cette fenêtre permet de modifier interactivement les propriétés associées à l'origine ainsi que les propriétés des véhicules, associés ou non à l'origine.

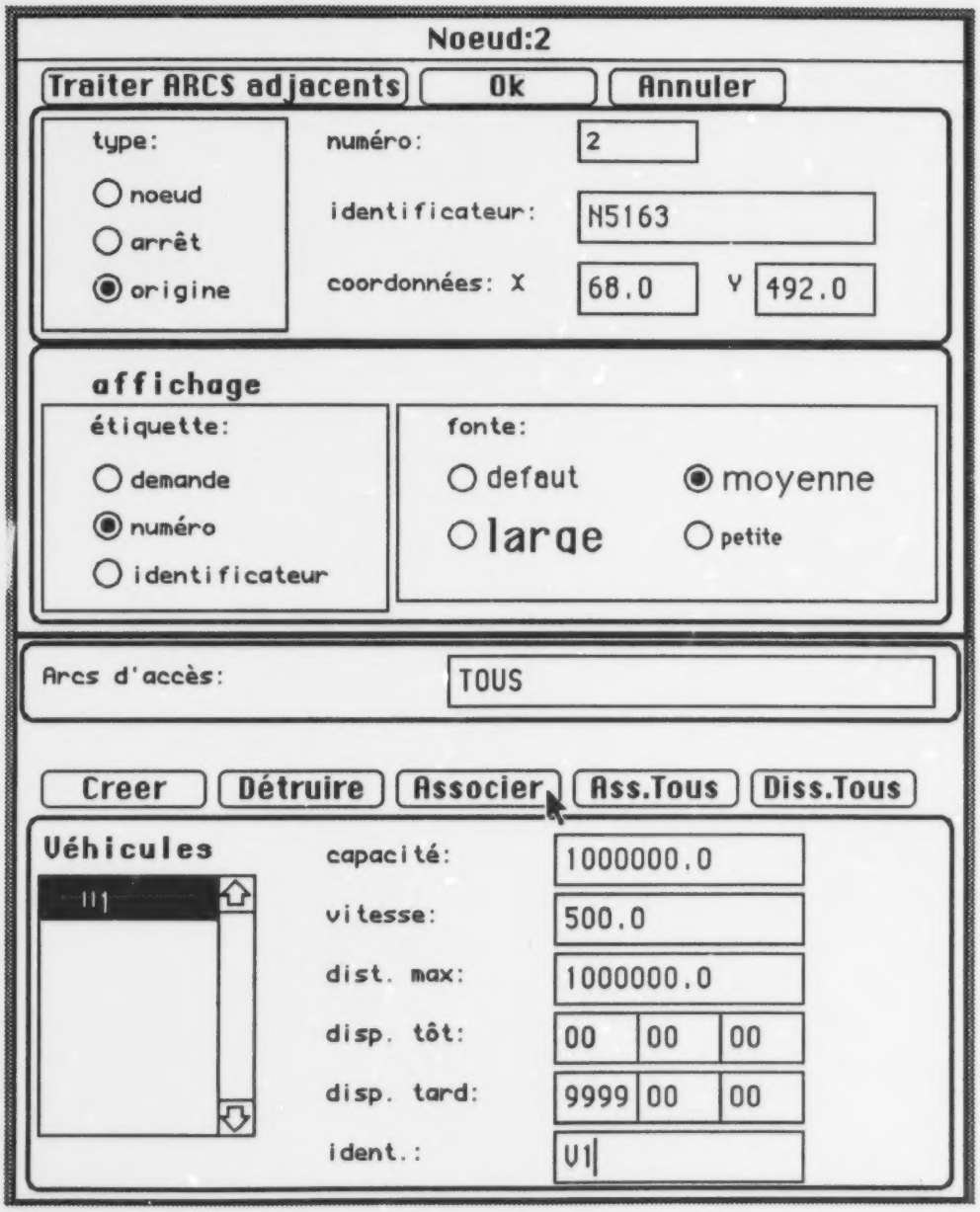


fig. 39 : édition d'une origine

Les commandes disponibles sont les même que celles utilisées dans la fenêtre DIALOGUE NOEUD. L'usager peut transformer l'origine en noeud simple ou en arrêt, ce qui aura pour effet de faire disparaître ou apparaître un ensemble de propriétés (voir les section 3.2.2 et 3.2.3). L'usager peut modifier toutes les propriétés générales associées à un noeud.

La section **Véhicules**, permet à l'usager de créer, détruire, ou modifier les diverses propriétés rattachées aux véhicules libres (i.e. véhicules en réserve qui ne peuvent desservir aucune route) ou ceux associés à l'origine (i.e. véhicules inclus au sein de l'origine et qui peuvent desservir une route). Les propriétés des véhicules qui peuvent être modifiées sont: la capacité, la vitesse, la distance maximale autorisée ou la disponibilité du véhicule: TOT et TARD, soit respectivement l'heure la plus tôt à laquelle le véhicule pourra débuter sa tournée et l'heure la plus tard à laquelle le véhicule devra être de retour à l'origine (en hh:mm:ss - voir les considérations à ce sujet à la section 3.2.3). Pour associer ou dissocier un véhicule (inclure ou exclure un véhicule) de l'origine, il suffit de sélectionner l'identificateur du véhicule que l'on désire associer ou dissocier, puis d'appuyer sur le bouton "**Associer / Dissocier**".

Pour détruire un véhicule, il suffit de le sélectionner, puis d'appuyer sur le bouton **Détruire**. Pour créer un ou plusieurs véhicules, il suffit de sélectionner la commande **Creer**. Après avoir sélectionné cette commande, le nombre de véhicules à créer, ainsi qu'un identificateur sont demandés dans une fenêtre de dialogue. Notons que si l'on désire créer plus d'un nouveau véhicule, les identificateurs auront la forme suivante: <IDENTIFICATEUR><n> où n correspond à l'indice du véhicule (e.g. si l'on choisit VEH comme identificateur et que l'on désire créer trois véhicules, les identificateurs seront VEH001, VEH002 et VEH003).

SECTION 6. Présentation des menus

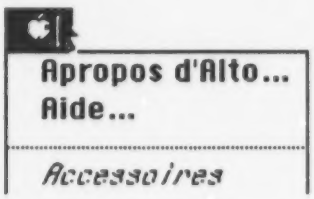
Cette section est consacrée à la présentation de tous les menus, sous-menus et fenêtres de dialogue accessibles à partir du menu principal du système *Alto*.

6.1 Présentation générale de la barre de menu

fig. 40 : La barre de menu

La barre de menu contient les menus suivants, chacun regroupant un ensemble de commandes:

a) Le menu "pomme" ():



La commande **Apropos d'Alto...** ouvre une fenêtre donnant la quantité de mémoire libre. **Aide...** ouvre la fenêtre suivante:

Cette fenêtre contient la table des matières du présent document; l'usager peut y naviguer et afficher différentes sections du manuel d'usager. **Terminé** permet de quitter le mode d'aide.

b) **Fichier**
Permet d'ouvrir et de fermer des fichiers, de lister les différentes propriétés des objets, de quitter *Alto*, etc.

c) **Edition**
Contient les commandes d'édition standard du McIntosh.

d) **Globale**
Donne accès aux procédures permettant la modification globale des caractéristiques de toute une catégorie d'objets (RESEAU, ARRETS, NOEUDS, ORIGINES, VEHICULES).

e) **Heuristique**
Donne accès aux différentes procédures utilisées pour définir, sauvegarder ou activer les différents opérateurs de base offerts par l'heuristique générale (voir section 1).

f) **Solution**
Donne accès aux diverses procédures offertes pour traiter les solutions obtenues suite à l'application de l'heuristique générale, telle la gestion du répertoire des solutions, la réactivation d'une solution, etc...

g) Le menu **Fenêtres**:

Ce menu permet de sélectionner une fenêtre qui est difficilement accessible sur l'écran ou qui a été "cachée". En effet les fenêtres **Affichage, Opérateurs** et **Réseau** peuvent être cachées, si l'usager le désire, en cliquant dans la boîte de fermeture (carré blanc en haut d'une fenêtre).

Voyons maintenant les commandes plus en détail.

6.2 Les commandes du menu Fichier.

Le menu **Fichier** a l'apparence suivante:

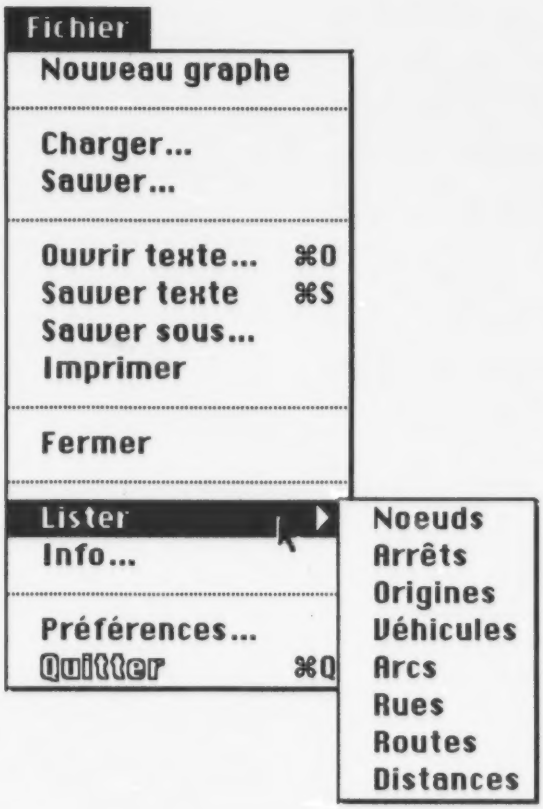


fig. 41 : Le menu **Fichier**

Décrivons maintenant chacune des commandes apparaissant dans ce menu. Il est a remarquer que certaines de ces commandes peuvent être appelées directement du clavier; il suffit de presser simultanément la touche ⌘ ("trèfle") et la lettre indiquée à droite dans le menu (e.g. **O** pour **Ouvrir texte...**).

a) **Nouveau graphe**
Cette commande permet de repartir à neuf en créant une fenêtre de graphe vide. L'usager peut alors créer le graphe qu'il désire dans cette fenêtre.

b) **Charger...**
Cette commande permet de charger les différents types de fichiers

nécessaires à la définition d'un problème dans l'environnement de travail à l'aide de la fenêtre de dialogue suivante:

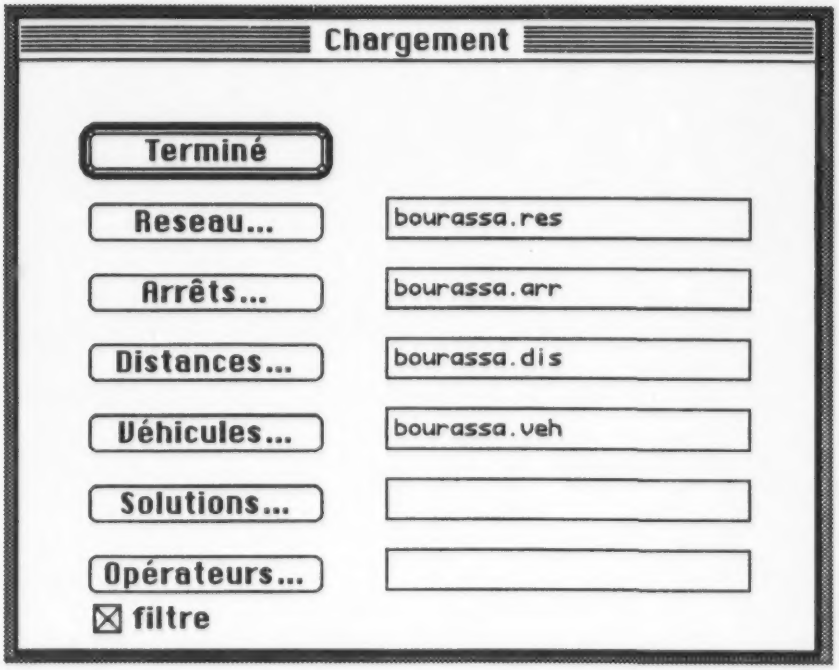


fig. 42 : la fenêtre de chargement

A chaque type de fichier correspond un bouton et un texte rappelant le nom du dernier fichier chargé (dans la fig. 42 on voit que les fichiers correspondant au réseau "bourassa" ont été chargés). Chaque bouton fait apparaître le dialogue standard de choix de fichier du McIntosh et provoque le chargement du fichier retenu par l'usager.

Il est à remarquer que les fichiers sont typés; ainsi, si l'usager choisit de charger un réseau, seuls les fichiers contenant un réseau *Alto* seront visibles dans le dialogue de choix de fichier. Il est cependant possible de charger un fichier non typé (e.g. un fichier texte créé avec un éditeur) en désélectionnant l'option **filtre**.

Il y a six types de fichiers *Alto*, leur format exact est défini à l'annexe 2. Ce sont les types:

- réseau: contient la définition du réseau, c.f. les noeuds et les arcs;
- arrêt: contient les propriétés des arrêts et des origines d'un réseau;
- distance: contient la table de distances entre les arrêts et les origines;
- véhicule: contient les véhicules et leurs propriétés;

- solution: contient des solutions;
- opérateurs: contient des instanciations d'opérateurs.

c) **Sauver...**

Permet de sauvegarder dans des fichiers des problèmes et des algorithmes définis dans l'environnement de travail à l'aide de la fenêtre suivante:

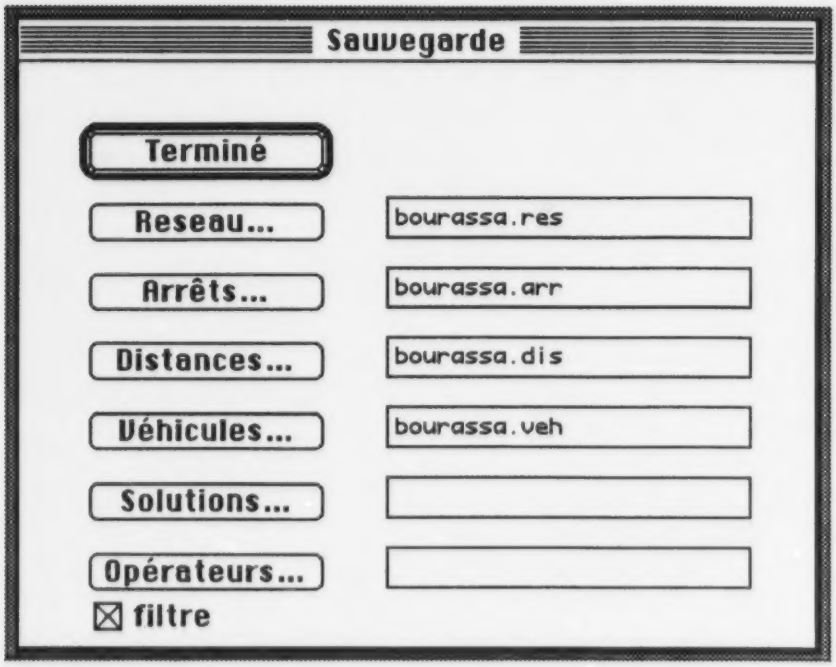


fig. 43 : la fenêtre de sauvegarde

Son principe de fonctionnement est le même que pour le chargement, et l'option filtre permet à l'usager de sauver des informations soit dans un fichier typé (et qui sera reconnu comme tel lors d'un chargement), soit dans un fichier texte "normal" qui pourra être édité avec un éditeur de texte.

d) **Ouvrir texte... (⌘O), Sauver texte (⌘S)** et **Sauver sous...**

Ces trois commandes permettent d'ouvrir et de sauver des fichiers texte, tels ceux crées par la commande **Sauver...** sans l'option **filtre**. **Ouvrir texte...** fait apparaître le dialogue de choix de fichier du McIntosh et ouvre une fenêtre contenant le texte choisi. D'autre part **Sauver texte** sauve le texte en utilisant l'ancien nom de fichier et **Sauver sous...** permet de le sauver en utilisant un nouveau nom.

e) **Imprimer**

Cette commande permet d'imprimer le contenu des fenêtres de texte, comme **Listener** ou **Affichage**. Par contre il n'est pas possible, dans la version actuelle d'*Alto*, d'imprimer les fichers de dialogue ou le réseau.

f) **Fermer**

Cette commande provoque la fermeture de la fenêtre courante. Elle équivaut à cliquer dans la boîte de fermeture de la fenêtre (le carré blanc en haut à gauche dans la fenêtre).

g) **Lister**

Ce menu permet de choisir le type d'objet pour lequel l'on désire obtenir une liste d'informations. On peut ainsi lister l'ensemble des informations rattachées aux noeuds, arrêts, origines, véhicules, arcs, rues, routes ou distances. Après avoir choisi le type d'objet, il faut ensuite répondre à la question: "on crée un fichier (o|n)?", qui apparaît dans une fenêtre de dialogue. Si l'on répond oui à cette question, il faut alors choisir un nom de fichier à l'aide du dialogue standard de création de fichier du McIntosh. Toutes les informations voulues sont alors stockées dans le nouveau fichier. Si l'on répond non, les informations apparaissent alors à l'écran, dans la fenêtre d'**Affichage**.

Notons que si on fait lister les informations sur les routes, il faut d'abord répondre à la question: "au plus tard (o/n)?". Si la réponse à cette question est oui (o), les temps de service aux arrêts seront alors calculés en supposant que les véhicules partent le plus tard possible de l'origine (tout en respectant les cadres horaires aux arrêts).

h) **Info...**

Cette commande provoque l'impression d'informations générales dans la fenêtre d'**Affichage**. Ces informations incluent le nombre de noeuds et d'arrêts dans le réseau courant, la demande totale, le nombre de véhicules, etc.

i) **Préférences...**

Cette commande fait apparaître la fenêtre suivante:

fig. 44 : la fenêtre des préférences

Elle permet à l'usager de choisir les préférences suivantes:

- **arrêt sur erreur** :
  si cette option est sélectionnée le programme va s'arrêter lors d'une erreur (voir l'Appendice pour plus de détails).
- **trace sur arrêt** :
  si cette option est sélectionnée le système va entrer en mode trace lors d'un arrêt (voir l'Appendice).
- **beep du grapher** :
  cette option permet de choisir si le grapher[1] va "beeper" après une erreur.
- **grapher confirme** :
  cette dernière option permet de choisir si le grapher doit demander à l'usager une confirmation avant de détruire un noeud ou un arc.
- `largeur de flèche, longueur de flèche` :
  permet à l'usager de choisir la dimension des flèches

---

[1] Le grapher est le logiciel qui permet d'éditer le graphe

indiquant les sens uniques. Ces valeurs peuvent être mises à zéro si l'usager désire ne pas avoir de telles flèches.

j) **Quitter (⌘Q)**
Permet de quitter *Alto*.

6.3 Les commandes du menu Edition.

Le menu **Edition** a l'apparence suivante:

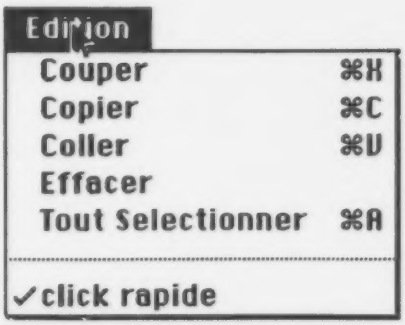


fig. 45 : Le menu **Edition**

Nous allons maintenant décrire chacune des commandes apparaissant dans ce menu.

a) **Couper (⌘X)**
Cette commande efface le texte ou la portion du réseau sélectionnée et en place le contenu dans le presse-papier. Si un texte est sélectionné, celui-ci pourra par la suite être recopié dans un éditeur de texte; s'il s'agit d'une portion de réseau, le réseau ENTIER sera mis dans le presse-papier et pourra être recopié dans un logiciel de dessin.

b) **Copier (⌘C)**
Copier effectue le même travail que **Couper** mais n'efface pas la sélection.

c) **Coller (⌘V)**
Permet de "recoller" le contenu du presse-papier dans une fenêtre de texte ou dans la fenêtre du réseau.

d) **Effacer**
Cette commande efface la sélection courante sans changer le contenu du presse-papier; elle équivaut à presser la clef (←).

e) **Tout sélectionner (⌘A)**
Sélectionne tout le contenu de la fenêtre active.

f) **click rapide**
Lorsque cette option est active (un ✓ apparaît alors), cette option fait

en sorte qu'un click dans une fenêtre inactive, est retransmis dans celle-ci en plus de la sélectionner. Lorsqu'elle est inactive, le click ne fait que sélectionner la fenêtre.

6.4 Les commandes du menu Globale.

Les commandes de ce menu permettent de modifier la valeur des propriétés associées à l'ensemble des objets du type choisi, de modifier le temps de service supplémentaire à chaque arrêt, et de recalculer la table des distances. Il se présente ainsi:

fig. 46 : Le menu **Globale**

Les commandes disponibles sont les suivantes:

a) **Noeuds...**
Cette commande permet la modification des propriétés de tous les noeuds simples du réseau. Elle fait apparaître la fenêtre suivante:

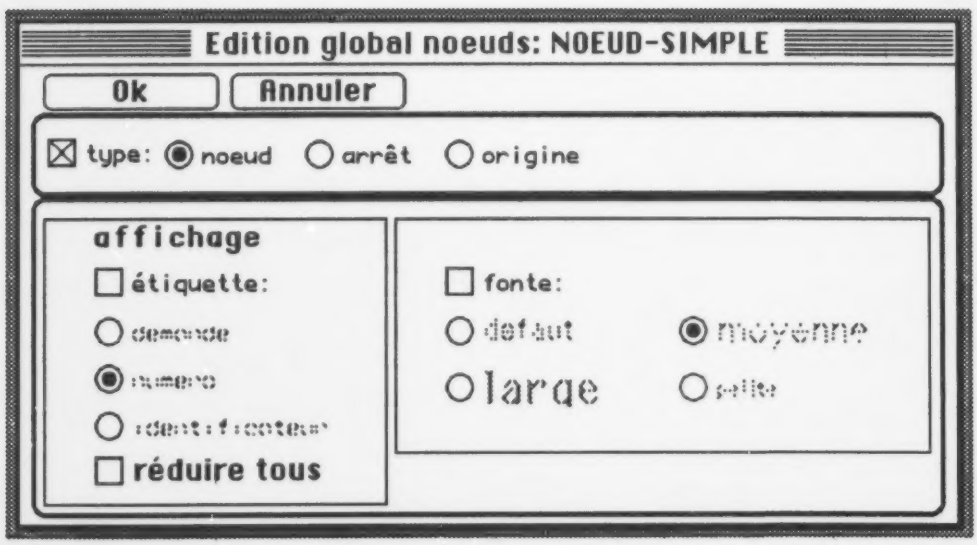
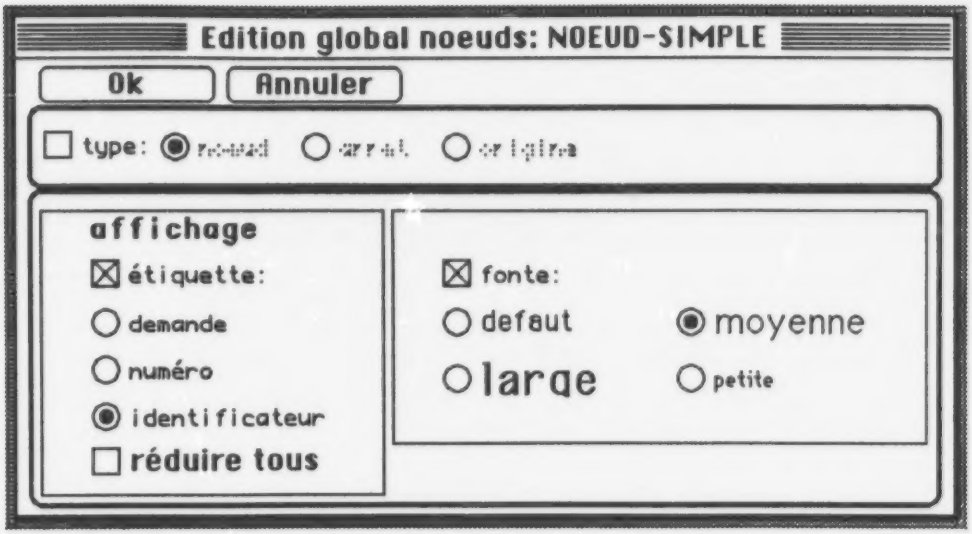


fig. 47 : La fenêtre de modification globale des noeuds

Cette fenêtre permet de choisir les propriétés que l'on désire modifier. Pour ce faire, on active les boutons de choix correspondants, puis on choisit la valeur désirée.
Les propriétés pouvant être modifiées sont les suivantes:

- **type :**
  Permet de transformer tous les objets du type présélectionné en objets d'un nouveau type. Les types possibles sont: noeud, arrêt et origine. Après avoir activé cette sélection, il faut choisir le nouveau type désiré (pour plus de détails se référer à la section 3.1). Notons que lorsque l'on change le type de l'objet, certaines propriétés apparaissent ou disparaissent de la fenêtre en fonction du type (voir sections sur **Arrêts...** et **Origines...**).
- **étiquette :**
  Permet de modifier l'étiquette de tous les objets du type présélectionné. Après avoir activé cette sélection, il faut choisir le type d'étiquette que l'on désire associer aux objets (voir section 3.2.2).
- **fonte :**
  Permet de modifier la fonte de tous les objets du type présélectionné. Après avoir activé cette sélection, il faut choisir la fonte que l'on désire associer aux objets (voir section 3.2.2).
- **réduire tous :**
  Si cette option est sélectionnée, tous les noeuds du type choisi seront réduits, sinon, ils seront tous agrandis (voir section 3.2.1, paragraphe j).

Ainsi, si l'on désire transformer l'étiquette de tous les noeuds simples en utilisant leur identificateur et leur donner la fonte "large", la fenêtre de la fig. 47 prendra cette apparence:



Comme d'habitude, l'usager peut ensuite sélectionner **Ok** pour accepter ces changements, ou **Annuler** pour les refuser.

b) **Arrêts...**

Cette commande permet la modification des propriétés de tous les arrêts du réseau. Elle fait apparaître la fenêtre suivante:

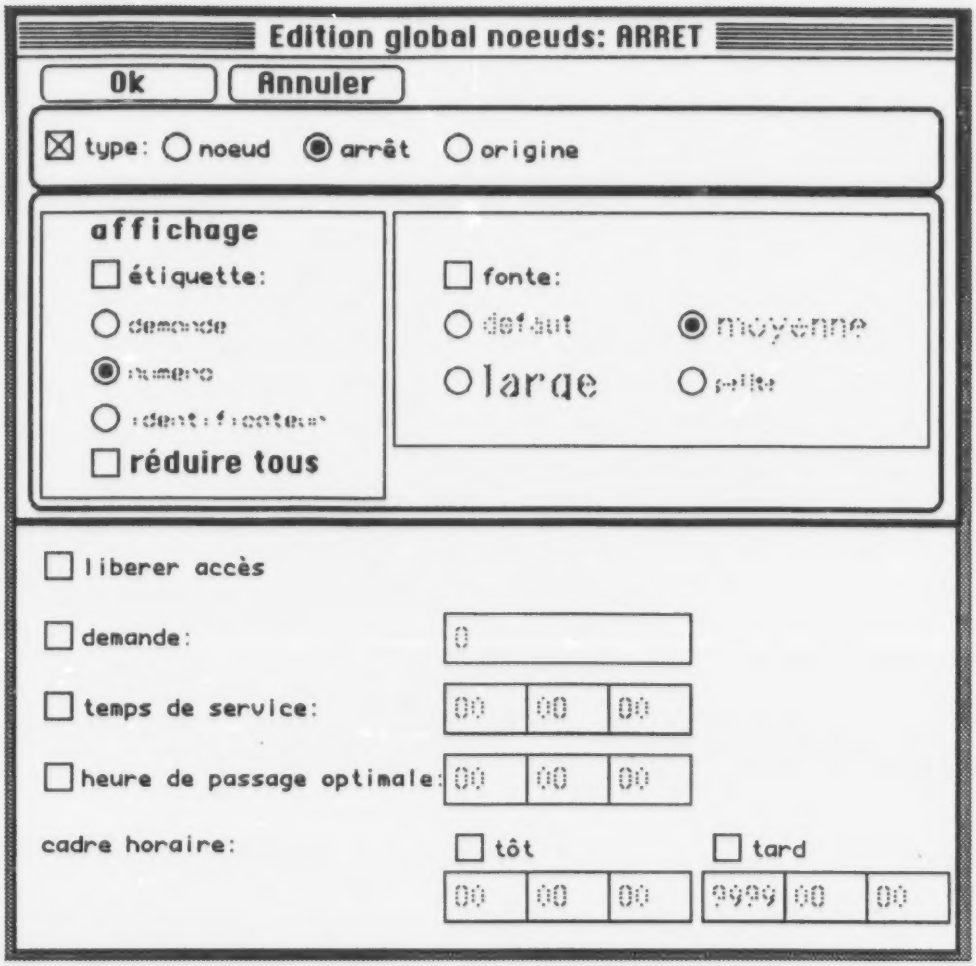


fig. 48 : La fenêtre de modification globale des arrêts

En plus de permettre la modification des propriétés d'affichage, elle permet de modifier les propriétés spécifiques aux arrêts, soit:

- `liberer accès` :
  Permet de lever tous les accès sélectifs (i.e. tous les arcs incidents seront dorénavant permis pour accéder aux arrêts - voir section 3.2.3).
- `demande` :
  Permet de modifier la demande de tous les arrêts. Après avoir activé cette sélection, il faut spécifier la demande en unités. (e.g. si l'usager précise une demande de 25 unités, tous les arrêts auront une telle demande)
- `temps de service` :
  Permet de modifier le temps alloué pour recueillir la demande à

un arrêt. Après avoir activé cette sélection, il faut spécifier le temps sous la forme hh:mm:ss. (e.g. si l'usager précise un temps de service de 00:03:30, tous les arrêts exigeront 3 minutes, 30 secondes pour recueillir leur demande)

- heure de passage optimale:

Permet de modifier l'heure de passage optimale à tous les arrêts. Après avoir activé cette sélection, il faut spécifier l'heure sous la forme hh:mm:ss. (e.g. si l'usager précise une heure de passage de 14:30, tous les arrêts auront 14 heures, 30 minutes comme heure optimale de passage).

- cadre horaire:

Permet de modifier le cadre horaire de tous les arrêts. Après avoir activé cette sélection, il faut spécifier l'heure au plus tôt et l'heure au plus tard, sous la forme hh:mm:ss.

c) **Origines...**

Cette commande permet la modification des propriétés des origines du réseau[1] . Elle fait apparaître la fenêtre que voici:

---

[1] Il est à remarquer que bien qu'il soit possible de définir plusieurs origines dans un réseau, aucune heuristique de résolution ne pourra être appliquée à ce réseau.

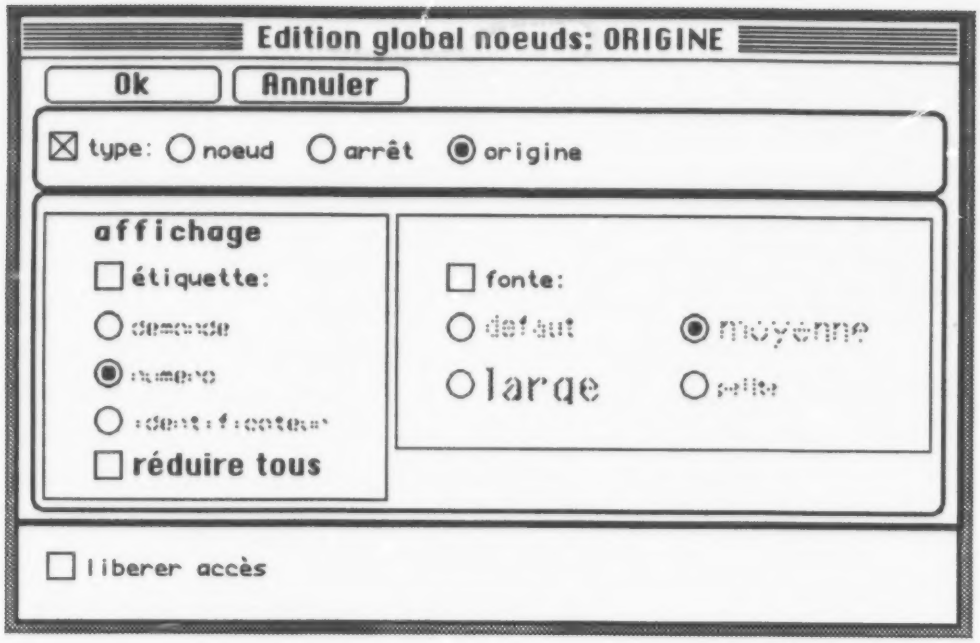


fig. 49 : La fenêtre de modification globale des origines

En plus de permettre la modification des propriétés d'affichage, elle permet de modifier cette propriété que partagent les origines et les arrêts:

- liberer accès:
  Permet de lever tous les accès sélectifs (i.e. tous les arcs incidents seront dorénavant permis pour accéder aux origines - voir section 3.2.3).

d) **Véhicules...**

Cette commande permet de modifier les propriétés associées à l'ensemble des véhicules. Ceci signifie que la valuer des propriétés sélectionnées deviendront identiques pour l'ensemble des véhicules. La commande fait apparaître la fenêtre de dialogue suivante:

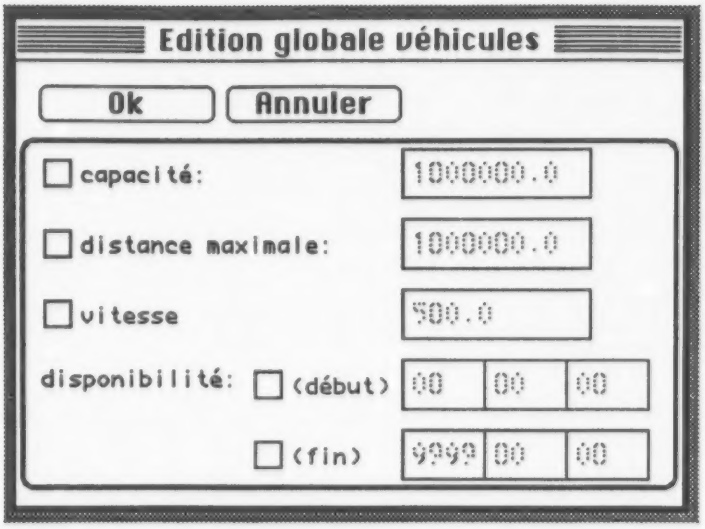


fig. 50 : La fenêtre de modification des véhicules

Cette fenêtre permet de choisir les propriétés que l'on désire modifier (voir section 3.1). L'usager doit ensuite fournir les valeurs associées aux propriétés choisies. Les propriétés qui peuvent être modifiées sont: la capacité, la distance maximale autorisée, la vitesse, ainsi que les heures de disponibilité des véhicules, soit (`début`), l'heure minimale à laquelle tous les véhicules pourront débuter leur tournée, et (`fin`), l'heure maximale à laquelle tous les véhicules devront terminer leur tournée.

e) **Temps Supp. ...**

Cette commande fait apparaître une fenêtre qui permet de modifier le temps supplémentaire (exprimé en minutes) qui sera ajouté à chaque déplacement d'un véhicule entre deux arrêts.

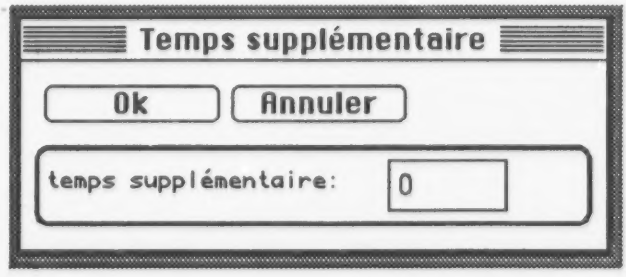


fig. 51 : La fenêtre de modification du temps supplémentaire

f) **Table de distances**

Cette commande permet de calculer la longueur des plus courts chemins entre tous les arrêts du réseau (incluant l'origine) à l'aide de l'algorithme de Dijkstra; elle fait apparaître la fenêtre suivante:

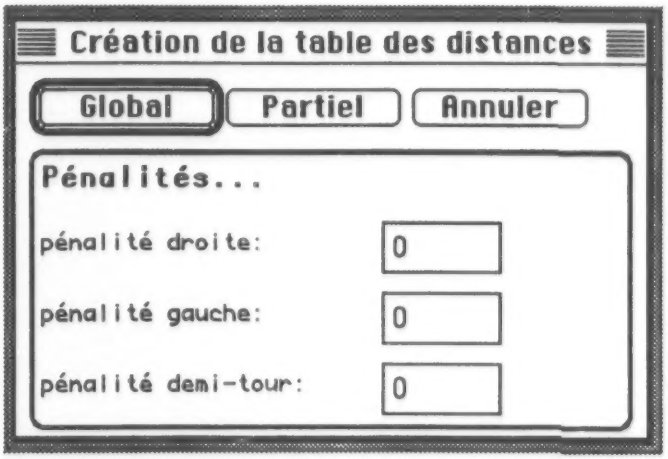


fig. 52 : Création de la table des distances

Cette fenêtre permet de spécifier les diverses pénalités de virages (pénalité sur les demi-tours, sur les virages à gauche ou à droite) que l'on désire ajouter lors du calcul des plus courts chemins. Pour créer la table de distances, il suffit ensuite de sélectionner la commande **Global**. Si l'usager ne veut calculer la table que pour les arrêts nouvellement ajoutés, il peut sélectionner la commande **Partiel**.

6.5 Les commandes du menu Heuristique.

Ce menu, constituant le coeur du système *Alto*, permet la gestion et l'activation des différents opérateurs présents au sein de l'heuristique générale (pour plus de détails veuillez vous référer à la section 1). Il est décrit à la section 7.

6.6 Les commandes du menu Solution.

Le menu **Solution** permet la gestion des solutions produites par l'heuristique générale, Il a cette apparence:

fig. 53 : Le menu **Solution**

Voiçi la description de chacune des commandes de ce menu:

a) **Retour Arrière**
Cette commande permet de retrouver la solution précédente, ce qui annule les effets du dernier opérateur activé.

b) **Retour au début**
Permet de détruire la solution courante, c'est-à-dire d'éliminer toutes les routes et de libérer tous les arrêts et tous les véhicules.

c) **Effacer route...**
Cette commande permet d'effacer (pas de détruire; seul l'affichage est affecté) une ou plusieurs routes présentement affichées en traits gras dans la fenêtre du réseau. Suite au choix de cette commande, une fenêtre apparaît permettant à l'usager de choisir une ou plusieurs routes à effacer:

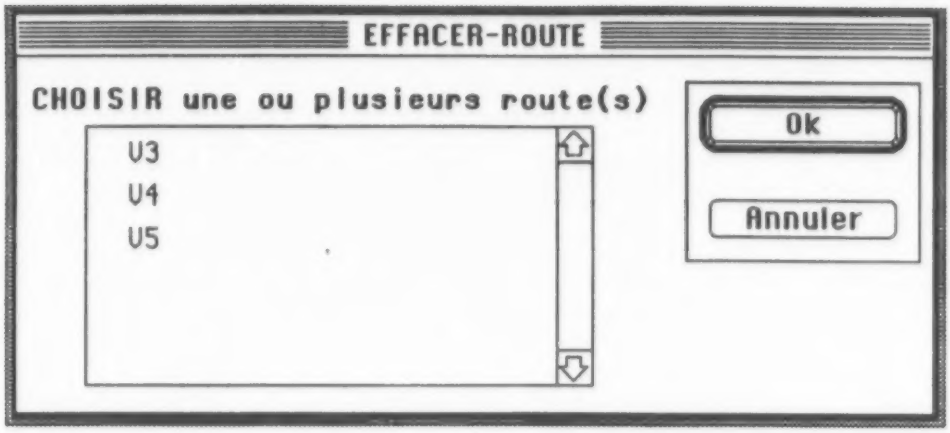


fig. 54 : La fenêtre de choix de routes.

d) **Afficher route...**
Permet d'afficher la route à vol d'oiseau pour un ou plusieurs véhicules. L'usager choisit la ou les routes à afficher avec le dialogue de la figure 54. Les routes apparaissent alors en traits gras à l'écran.

e) **Afficher route exacte...**
Permet d'afficher la route exacte d'un ou de plusieurs véhicules (i.e. un suivant les arcs du réseau et non à vol d'oiseau).

f) **Réévaluer route...**
Cette commande permet de réévaluer une ou plusieurs routes et de les réafficher si des modifications ont été apportées dans les données du problème (p.e. modification de la vitesse des véhicules). Les routes à vol d'oiseau du véhicule apparaissent alors en traits gras à l'écran.

g) **Réévaluer route exacte...**
Permet de réévaluer et d'afficher une ou plusieurs routes exactes si des modifications ont été apportées dans les données du problème. S'il y a eu des modifications dans les données, l'évaluation des routes exactes en tiendra compte. Les routes apparaissent alors en traits gras à l'écran.

h) **Gérer répertoire...**
Permet la gestion du répertoire des solutions; i.e. permet de conserver dans le répertoire les solutions générées suite à l'application des différents opérateurs, de détruire des solutions dans le répertoire ou encore de réactiver dans l'environnement de travail une solution

précédemment sauvegardée . Après avoir retenu cette sélection, la sous-fenêtre de dialogue suivante apparaît:

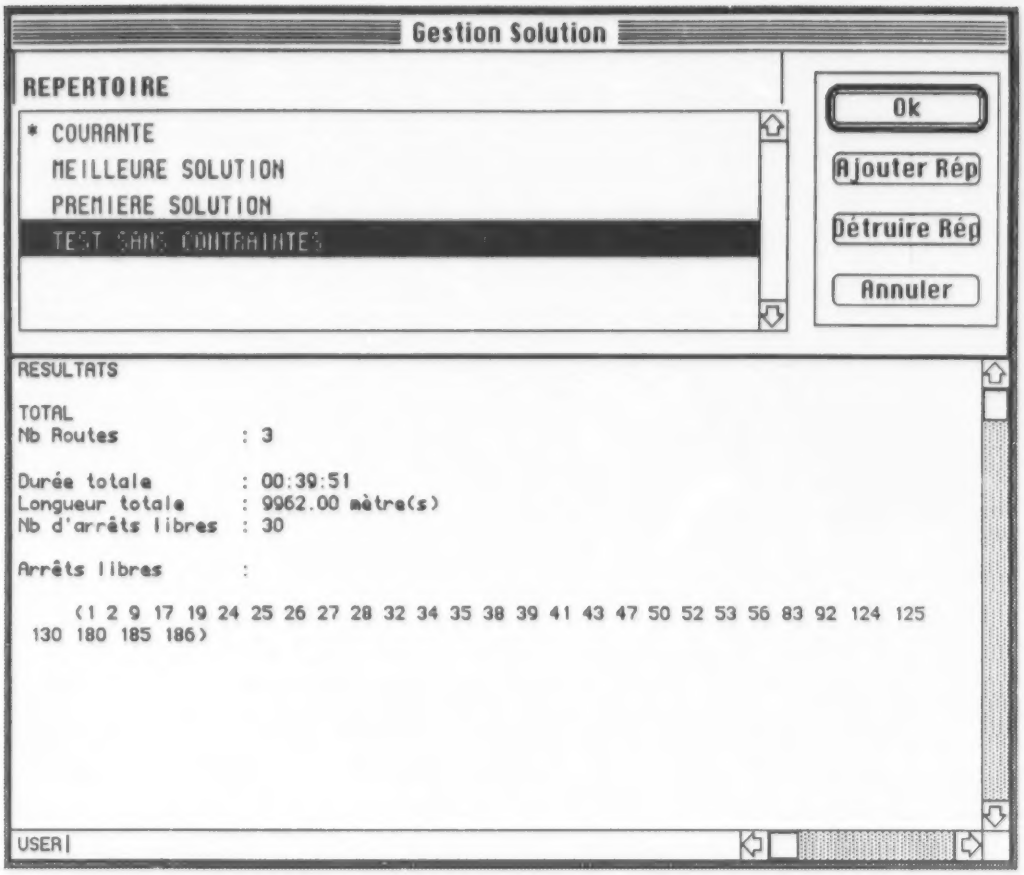


fig. 55 : La fenêtre de gestion des solutions

Cette fenêtre présente les mêmes propriétés que celles servant à définir les opérateurs (voir section 3.3.4.1) . Notons seulement que la commande **Ok** permet de réactiver une solution précédemment sauvegardée. La solution réactivée, dont le résumé apparaît dans la section de description de la fenêtre, est affichée en traits gras à l'écran et remplace la solution courante.

SECTION 7. Les commandes du menu Heuristique.

Ce menu, constituant le coeur du système *Alto*, permet la gestion et l'activation des différents opérateurs présents au sein de l'heuristique générale (pour plus de détails veuillez vous référer à la section 1).

Il a l'apparence suivante (ici, le sous-menu de **Init** est activé):

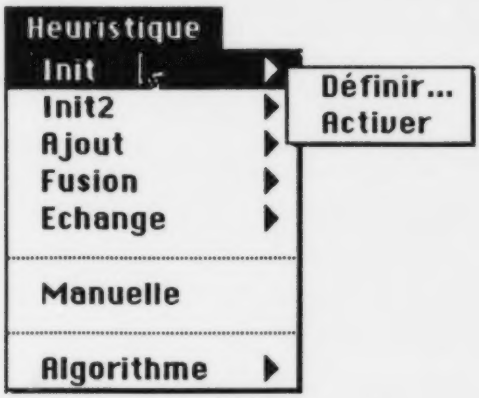


fig. 56 : Le menu **Heuristique**

Il permet de choisir l'opérateur que l'on désire activer et l'appliquer au problème à résoudre. En plus des cinq opérateurs de base, nous retrouvons deux autres sélections. La sélection **Algorithme** permet de regrouper au sein d'une même procédure tout un ensemble d'opérateurs de base, afin de reproduire un algorithme complet (e.g. algorithme de "Nearest-Insertion" [1]). La sélection **Manuelle** permet d'effectuer un ensemble d'opérations manuelles, telles que l'initialisation manuelle de nouvelles routes, l'insertion manuelle des arrêts au sein d'une route, etc... Notons qu'il y a un sous-menu rattaché à chaque opérateur. Pour accéder à un sous-menu, il suffit de placer la souris à l'extrême droite de l'opérateur choisi. Le sous-menu permet entre autres, d'appliquer la commande **Définir...** que nous décrivons maintenant de façon plus détaillée.

7.1 La commande Définir...

La commande **Définir...** permet la définition des entrées dans le modèle d'un opérateur, de façon à créer une instanciation de cet opérateur. Les entrées sont définies à l'aide de formules créées par l'usager ou à l'aide de formules déjà présentes dans le système. Cette commande permet de plus la gestion des répertoires associés à chacun des opérateurs. Ces répertoires assurent la sauvegarde d'opérateurs complets dans des répertoires d'opérateurs et/ou la sauvegarde de formules individuelles dans des répertoires de formules. Après avoir effectué la commande **Définir...**, une sous-fenêtre de dialogue apparaît, dont la forme générale est la suivante:

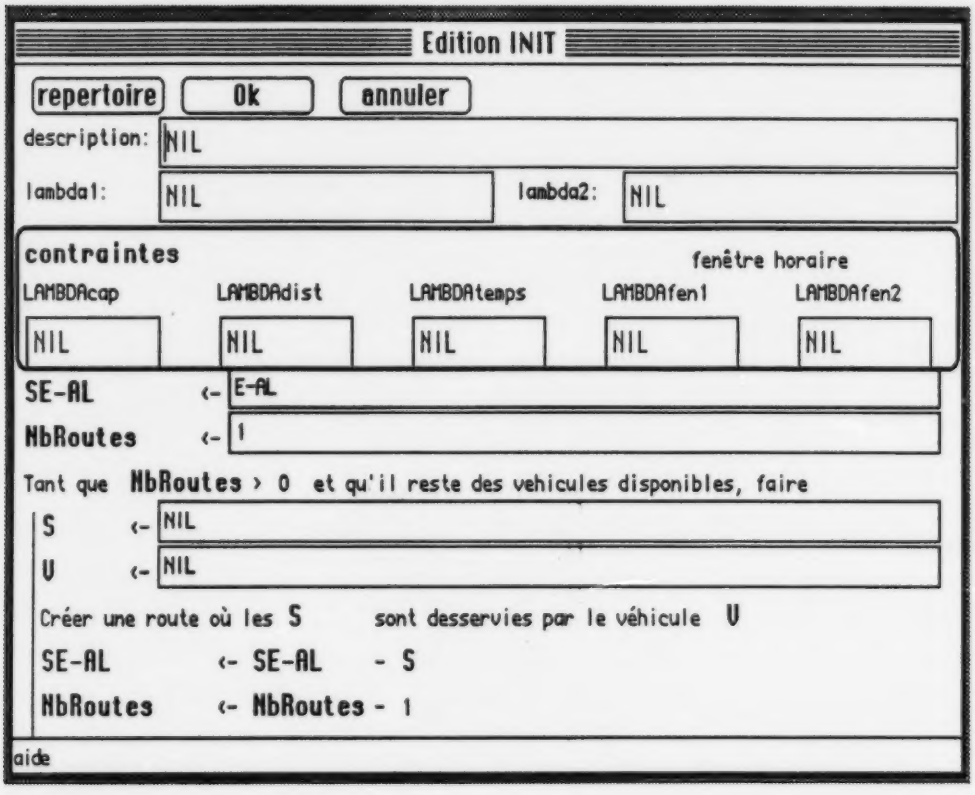


fig. 57 : Une fenêtre d'opérateur

Dans une telle fenêtre l'usager peut effectuer les actions suivantes:

a) Sélectionner **Ok**, ce qui permet de quitter le mode de définition, en remplaçant l'instanciation courante de l'opérateur par celle apparaissant dans la fenêtre.

b) Sélectionner **Annuler**, ce qui permet de quitter sans modifier l'instanciation courante de l'opérateur.

c) Sélectionner **répertoire** pour avoir accès au répertoire des opérateurs. Il regroupe l'ensemble des instanciations d'un opérateur existant dans l'environnement de travail. Nous verrons tout ceci plus en détail à la section 3.3.3.3.

d) Entrer du texte dans les champs de description, dans les champs des paramètres `lambda1` et `lambda2`, et dans ceux pour les paramètres de pondération des **contraintes**.

e) Modifier une des formules actives, en cliquant dans les cases correspondant au points de décision au sein de l'opérateur. C'est ainsi que l'usager est appelé à intervenir pour donner une "personnalité" à l'opérateur, en fournissant les formules associées au modèle général. Ceci se fait à l'aide de la fenêtre décrite à la section 3.3.3.3.

7.2 Les répertoires d'opérateurs

Cette fenêtre, accessible à partir de la commande **répertoire** des fenêtres d'opérateurs, a l'apparence générale suivante:

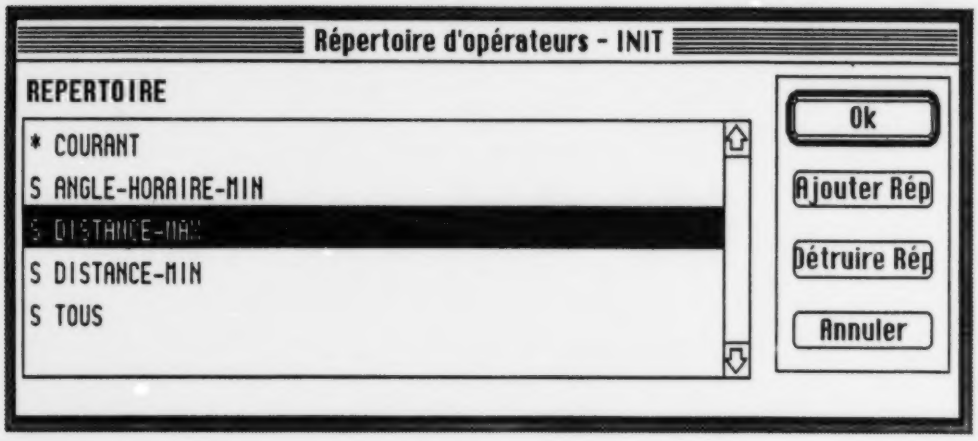


fig. 58 : Une fenêtre de répertoire d'opérateur

Elle se divise en deux sections:

a) une section **REPERTOIRE**
Elle regroupe l'ensemble des instanciations d'un opérateur existant dans l'environnement de travail (répertoire des opérateurs). La première entrée, qui correspond à l'instanciation courante de l'opérateur, porte toujours le nom COURANT et est toujours précédée d'un astérisque (*). On retrouve ensuite l'ensemble des instanciations fournies par le système; celles-ci sont toujours précédées de la lettre S. Finalement, on retrouve l'ensemble des instanciations créées par l'usager. Notons que l'on ne peut voir plus de six entrées à la fois. Pour accéder aux autres entrées, il suffit de cliquer sur l'une des flèches dans la bordure de droite, soit vers le haut, soit vers le bas. En cliquant sur une des entrées de ce répertoire, l'usager remplace l'instanciation courante apparaissant dans la fenêtre de l'opérateur.

b) une section regroupant les commandes (**Ok**, etc).

- **Ok** :
  permet de quitter le répertoire, en remplaçant l'instanciation courante de l'opérateur par celle apparaissant dans la fenêtre de l'opérateur.
- **Annuler** :
  permet de quitter le répertoire sans modifier l'instanciation

courante de l'opérateur.

- **Ajouter Rép** ("Ajouter répertoire") :
  permet de sauvegarder l'instanciation courante (celle apparaissant dans la section dans la fenêtre de l'opérateur.) dans le répertoire des opérateurs. Après avoir retenu cette commande, un identificateur pour le nouvel opérateur instancié est demandé au niveau d'une fenêtre de dialogue.
- **Détruire Rép** ("Détruire répertoire") :
  permet de détruire l'entrée sélectionnée dans la section **REPERTOIRE**.

7.3 L'édition des formules

La fenêtre d'édition des formules a l'apparence suivante:

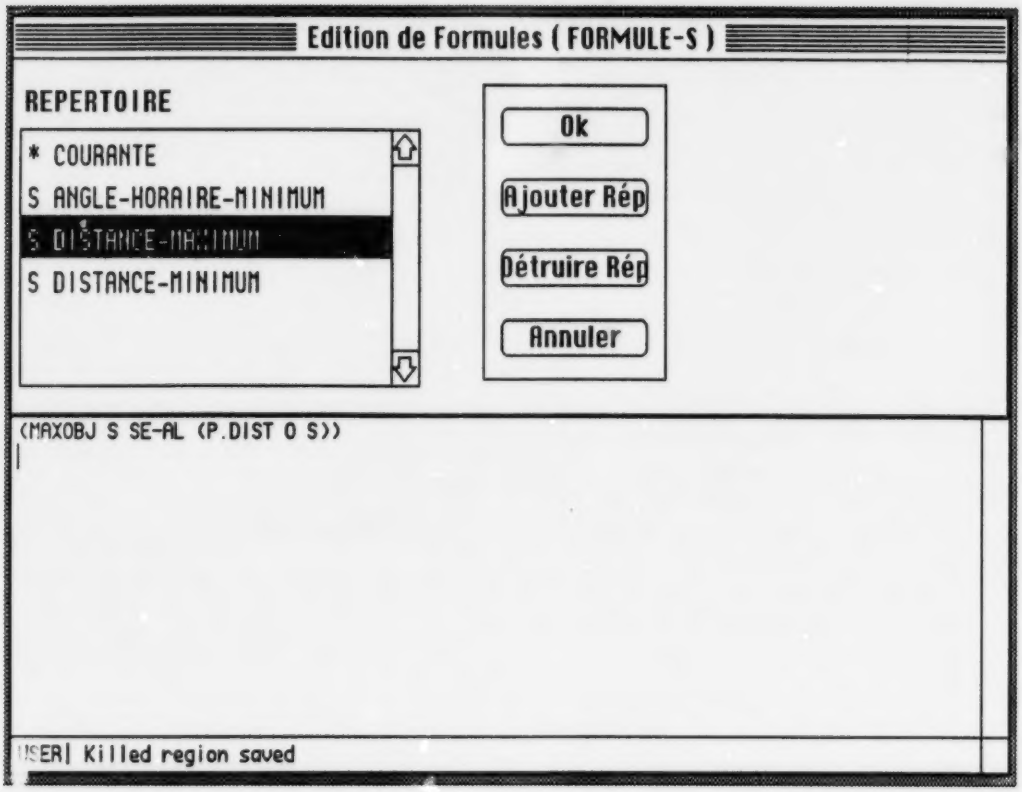


fig. 59 : La fenêtre d'édition des formules

Elle est composée de deux parties. Premièrement, une partie répertoire, dont le fonctionnement est similaire celui d'un répertoire d'opérateur (voir 3.3.3.2). Et deuxièmement, une partie d'édition, où l'usager peut modifier la formule courante. Notons que tout l'environnement offert par Allegro Common Lisp peut être utilisé pour définir une formule; que ce soit les procédures offertes par Common Lisp ou encore celles prédéfinies au sein du système (voir Annexe 1 pour une description complète). Notons de plus que pour désactiver une formule, il suffit d'entrer la valeur NIL.

7.4 L'opérateur d'initialisation (INIT)

Voiçi maintenant la description des deux commandes associées au sous-menu **Init** (voir fig. 56)

a) **Définir...**

Permet d'instancier le modèle correspondant à l'opérateur INIT. Cette sélection permet aussi la gestion du répertoire qui regroupe les diverses instanciations associées à cet opérateur (voir les considérations générales à ce sujet à la section 3.3.4.1). Après avoir sélectionné cette commande, la sous-fenêtre de dialogue suivante apparaît:

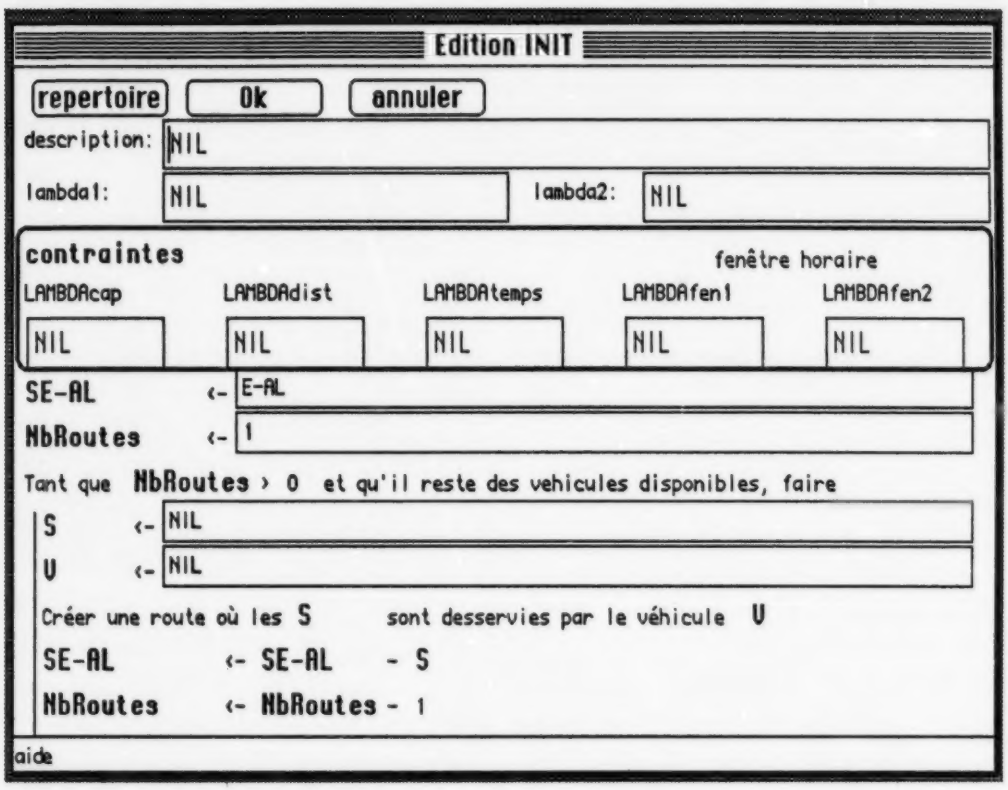


fig. 60 : La fenêtre d'édition d'INIT

Remarques: Le champ `description` permet de donner une brève description de l'opérateur. Les variables `lambda1` et `lambda2` correspondent à des paramètres qui peuvent être utilisés dans les formules. De plus, toutes les variables en caractères gras peuvent aussi être utilisées à cette fin (p.e. **SE-AL**, **NbRoutes**, **S**, **U**).

b) **Activer**

Permet d'activer l'opérateur INIT. Les routes créées sont alors affichées en traits gras à l'écran.

7.5 L'opérateur de réinitialisation (INIT2)

a) **Définir...**

Permet d'instancier le modèle correspondant à l'opérateur INIT2. Cette sélection permet aussi la gestion du répertoire qui regroupe les diverses instanciations associées à cet opérateur (voir les considérations générales à ce sujet à la section 3.3.4.1). Après avoir retenu cette sélection, la sous-fenêtre de dialogue suivante apparaît:

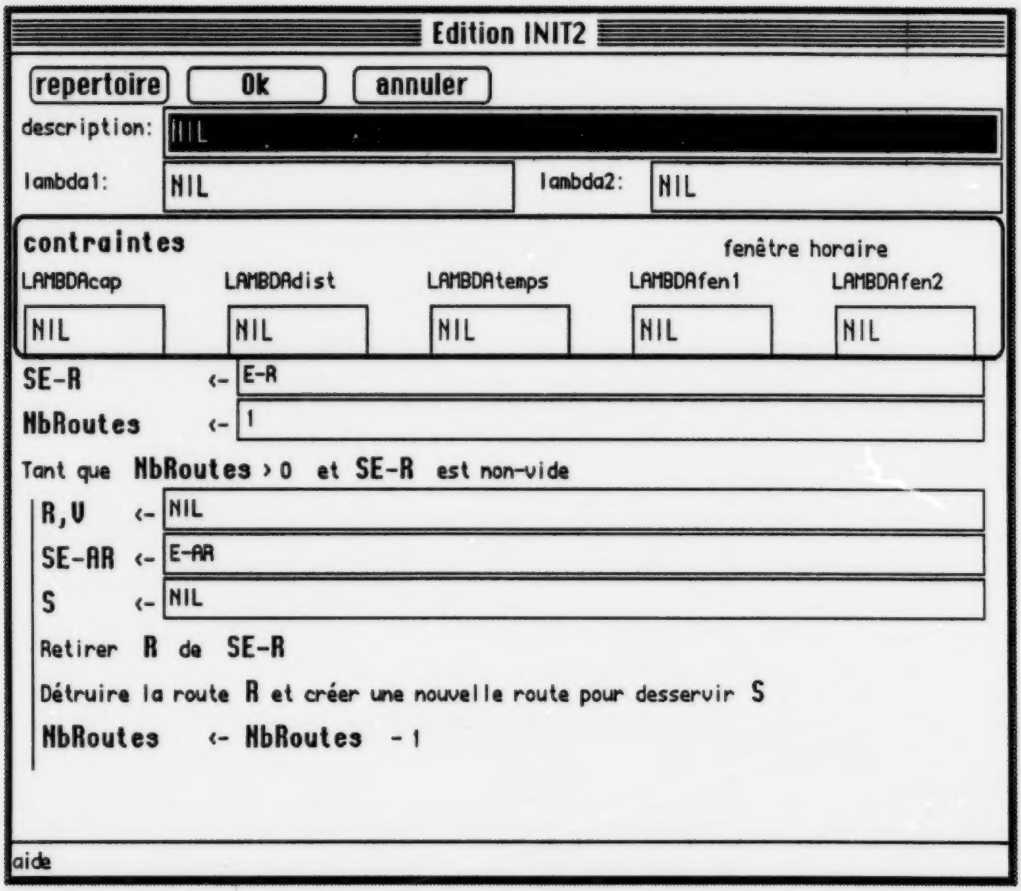


fig. 61 : La fenêtre d'édition d'INIT2

Remarques: Le champ `description` permet de donner une brève description de l'opérateur. Les variables `lambda1` et `lambda2` correspondent à des paramètres qui peuvent être utilisés dans les formules. De plus, toutes les variables en caractères gras peuvent aussi être utilisées à cette fin (p.e. **SE-R**, **NbRoutes**, **R**).

b) **Activer**

Permet d'activer l'opérateur INIT2. Les routes créées sont alors affichées en traits gras à l'écran.

7.6 L'opérateur d'insertion d'arrêts dans une route (AJOUT)

a) **Définir...**

Permet d'instancier le modèle correspondant à l'opérateur AJOUT. Cette sélection permet aussi la gestion du répertoire qui regroupe les diverses instanciations associées à cet opérateur (voir les considérations générales à ce sujet à la section 3.3.4.1). Après avoir retenu cette sélection, la sous-fenêtre de dialogue suivante apparaît:

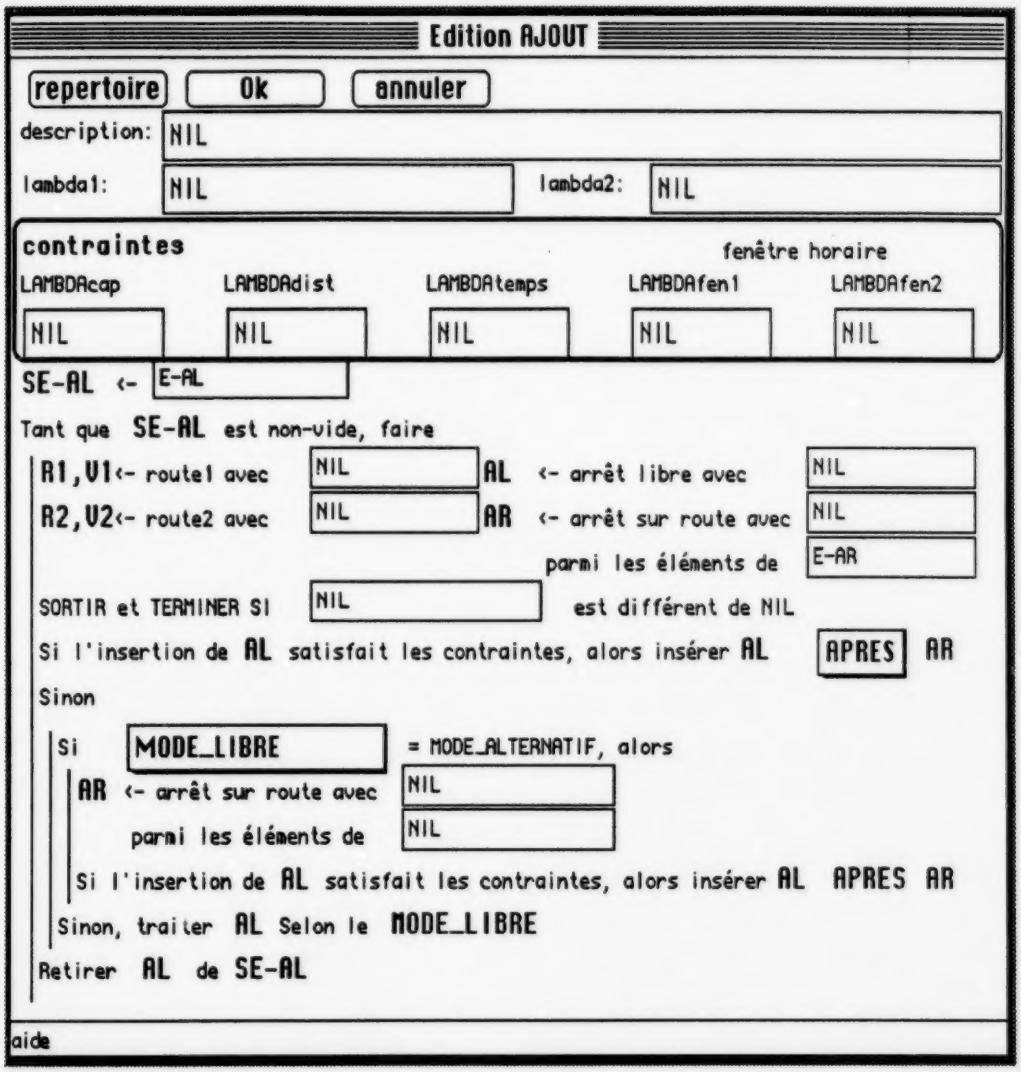


fig. 62 : La fenêtre d'édition d'AJOUT

Remarques: Le champ `description` permet de donner une brève description de l'opérateur. Les variables `lambda1` et `lambda2`

correspondent à des paramètres qui peuvent être utilisés dans les formules. Notons que toutes les variables en caractères gras peuvent aussi être utilisées à cette fin (p.e. **SE-AL, U1, R1, AL, U2, R2, SE-AR, AR**).

La section **contraintes** regroupe les différents paramètres de pondération associés aux contraintes (voir section 1.4.2). Les paramètres sont: LAMBDAcap pour la contrainte de capacité, LAMBDAdist pour la distance maximale autorisée, LAMBDAtemps pour le temps maximal autorisé, LAMBDAfen1 pour la borne inférieure du cadre horaire et LAMBDAfen2 pour la borne supérieure du cadre horaire.

Les divers modes de traitement pour l'insertion d'un arrêt sont:

a) **MODE_LIBRE**: l'arrêt n'est pas inséré à l'endroit indiqué (cet arrêt demeure libre).

b) **MODE_ALTERNATIF**: l'opérateur AJOUT utilise la formule alternative pour la sélection d'un arrêt sur une route. Si le nouvel endroit retenu n'assure toujours pas le respect des contraintes, l'arrêt libre ne sera pas inséré (cet arrêt demeure libre).

c) **MODE_AJOUT**: l'arrêt libre est inséré à l'endroit indiqué malgré la violation des contraintes.

d) **MODE_INTERRUPTION**: l'opérateur AJOUT s'interrompt dès qu'un arrêt ne peut être inséré à l'endroit indiqué. Ainsi, tous les arrêts non encore traités demeurent libres.

e) **MODE_INTERACTIF**: ici, l'usager est appelé à spécifier (par l'intermédiaire d'une fenêtre de dialogue) l'un des quatre modes précédents dès que l'insertion d'un arrêt libre viole les contraintes. Cette approche interactive permet de traiter l'insertion de chacun des arrêts sur une base individuelle. Notons que les routes avant et après l'insertion sont présentées à l'usager, afin de le guider dans son choix. (les informations sur les routes sont imprimées dans la fenêtre **Affichage**)

b) **Activer**

Permet d'activer l'opérateur AJOUT. Les routes générées sont alors affichées en traits gras à l'écran.

c) **Activer Démo**

Permet d'activer l'opérateur AJOUT en mode démonstration, ce qui permet de suivre le déroulement de l'algorithme à l'écran (i.e.

visualisation de la procédure de sélection d'un arrêt libre, de la procédure de sélection de l'arrêt sur une route, et de l'insertion de l'arrêt libre).

7.7 L'opérateur de fusion de routes (FUSION)

a) **Définir...**

Permet d'instancier le modèle correspondant à l'opérateur FUSION. Cette sélection permet aussi la gestion du répertoire qui regroupe les diverses instanciations associées à cet opérateur (voir les considérations générales à ce sujet à la section 3.3.4.1). Après avoir retenu cette sélection, la fenêtre de dialogue suivante apparaît:

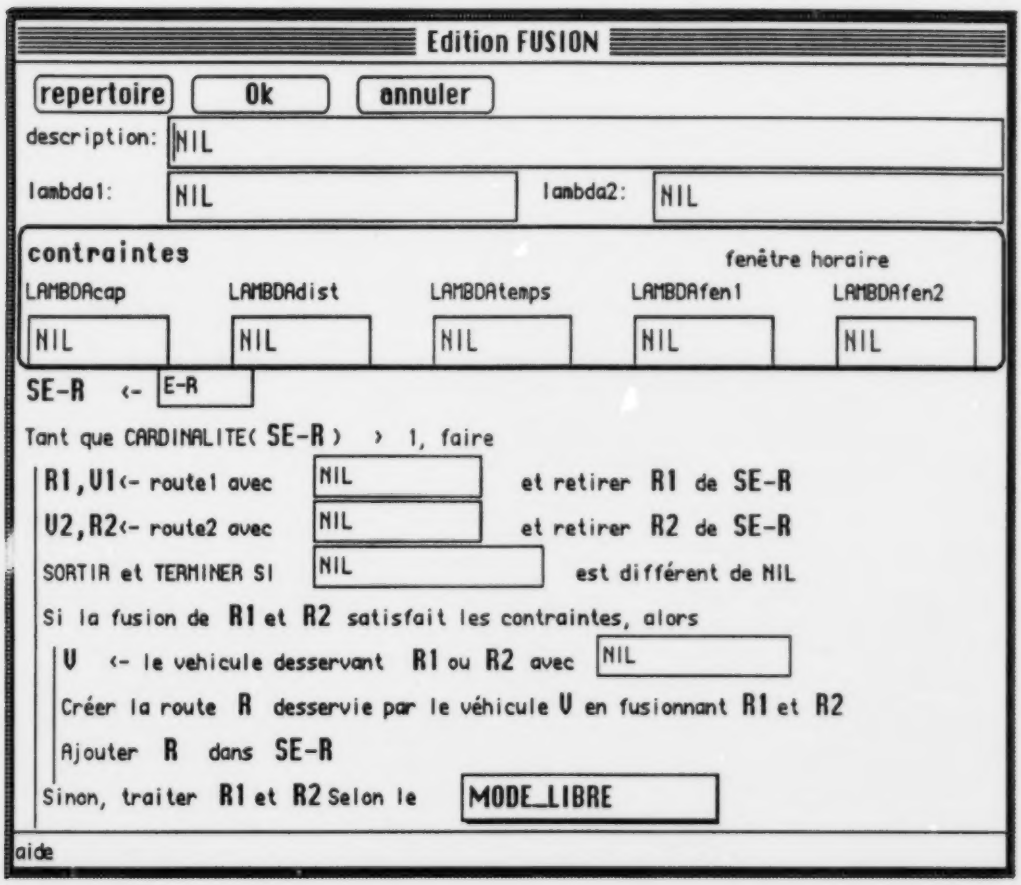


fig. 63 : L'édition de l'opérateur FUSION

Remarques: Le champ `description` permet de donner une brève description de l'opérateur. Les variables `lambda1` et `lambda2` correspondent à des paramètres qui peuvent être utilisés dans les formules. Notons que toutes les variables en caractères gras peuvent aussi être utilisées à cette fin (p.e. **SE-R, U1, R1, U2, R2**).
La section **contraintes** regroupe les différents paramètres de pondération associés aux contraintes (voir section 1.4.2). Les

paramètres sont: LAMBDAcap pour la contrainte de capacité, LAMBDAdist pour la contrainte de distance maximale autorisée, LAMBDAtemps pour la contrainte de temps maximal autorisé, LAMBDAfen1 pour la borne inférieure du cadre horaire et LAMBDAfen2 pour la borne supérieure du cadre horaire.
Les divers modes de traitement pour la fusion des routes **R1** et **R2** sont:
a) **MODE_LIBRE**: les deux routes ne sont pas fusionnées.
b) **MODE_FUSION**: les deux routes sont fusionnées n ılgré la violation des contraintes.
c) **MODE_INTERRUPTION**: l'opérateur FUSION s'interrompt dès que deux routes ne peuvent être fusionnées ensemble.
d) **MODE_INTERACTIF**: ici, l'usager sera appelé à spécifier (par l'intermédiaire d'une fenêtre de dialogue) l'un des trois modes précédents dès que la fusion des deux routes viole les contraintes.
Notons que les routes avant et après la fusion sont présentées à l'usager, afin de le guider dans son choix. (Les informations sur les routes sont imprimées dans la fenêtre **Affichage**)

b) **Activer**
Permet d'activer l'opérateur FUSION. Les routes générées sont alors affichées en traits gras à l'écran.

7.8 L'opérateur d'échange (ECHANGE)

Le sous-menu **Echange** diffère notablement des autres sous-menus d'opérateurs. Voici son apparence:

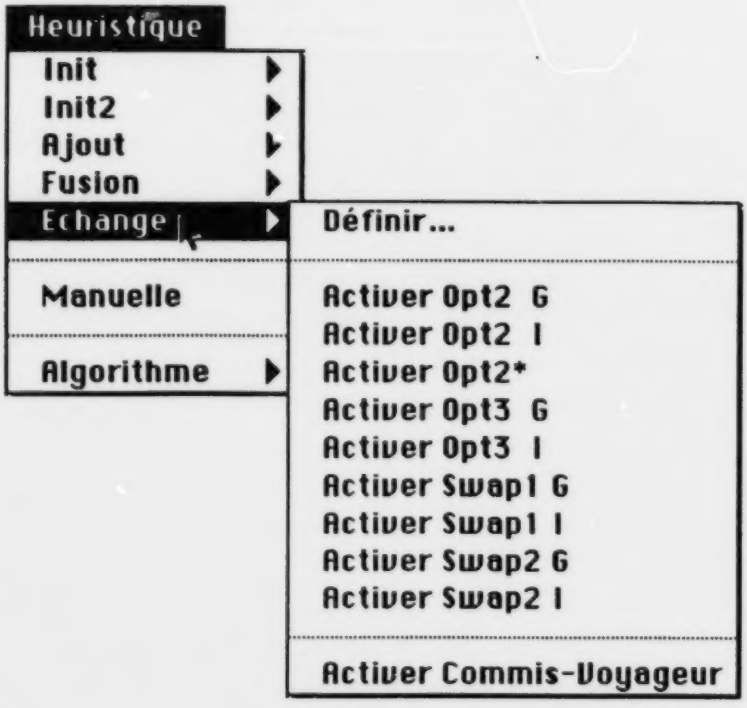


fig. 64 : Le sous-menu **Echange**

a) **Définir...**

Permet d'instancier le modèle correspondant à l'opérateur ECHANGE. Cette sélection permet aussi la gestion du répertoire qui regroupe les diverses instanciations associées à cet opérateur (voir les considérations générales à ce sujet à la section 3.3.4.1). Après avoir retenu cette sélection, la fenêtre de dialogue suivante apparaît:

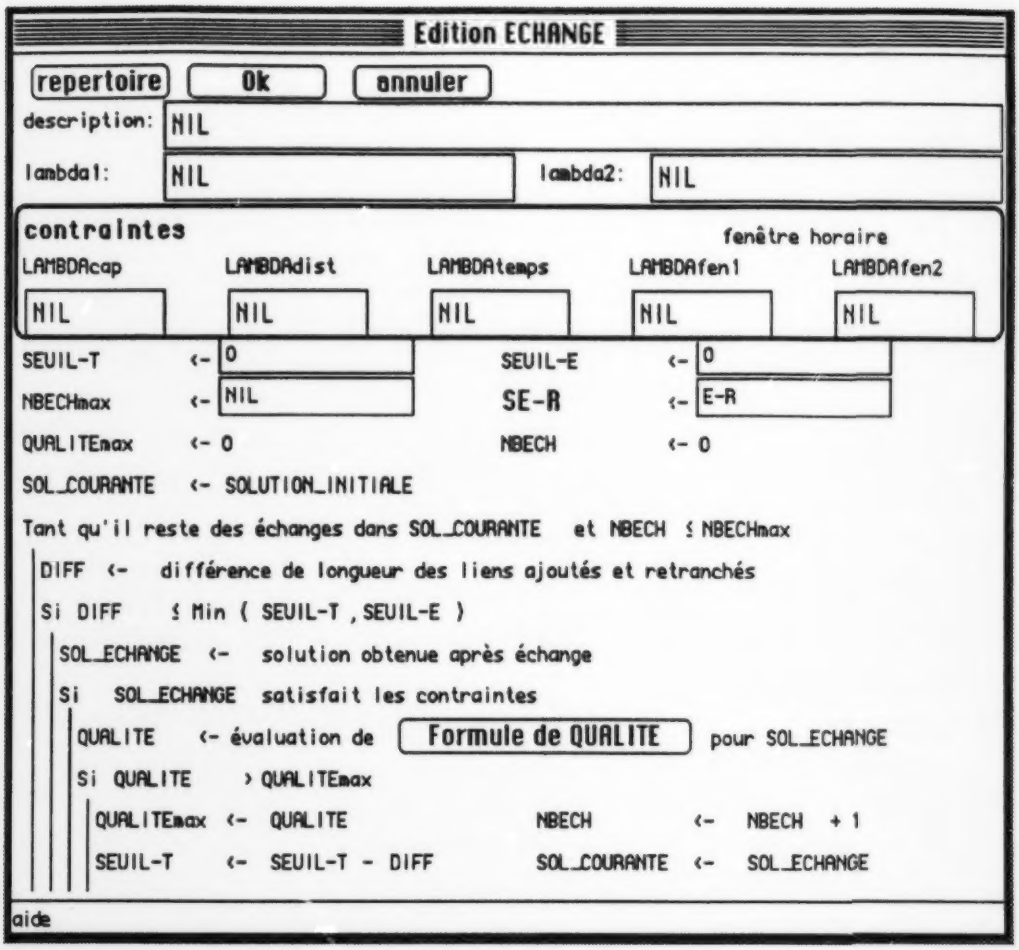


fig. 65 : L'édition de l'opérateur ECHANGE

Remarques: Le champ `description` permet de donner une brève description de l'opérateur. La section **contraintes** regroupe les différents paramètres de pondération associés aux contraintes (voir section 1.4.2). Les paramètres sont: `LAMBDAcap` pour la contrainte de capacité, `LAMBDAdist` pour la contrainte de distance maximale autorisée, `LAMBDAtemps` pour la contrainte de temps maximal autorisé, `LAMBDAfen1` pour la borne inférieure du cadre horaire et `LAMBDAfen2` pour la borne supérieure du cadre horaire.
D'autre part, lorsqu'on désire modifier la formule de qualité, la sous-fenêtre de dialogue suivante apparaît:

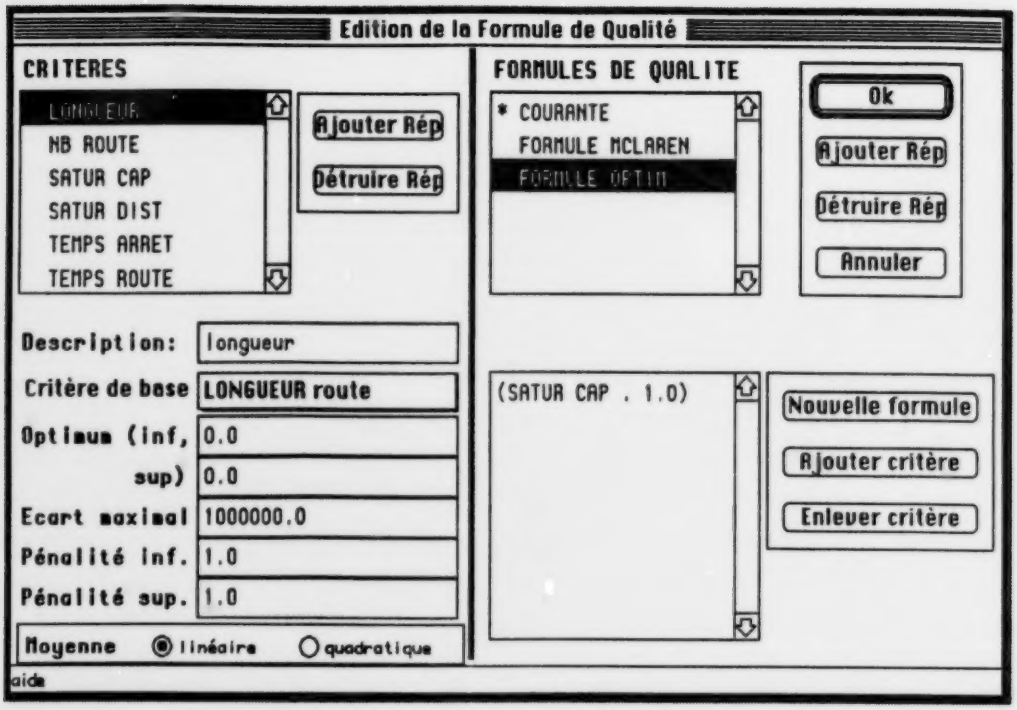


fig. 66 : L'édition d'une formule de qualité

Etant donné qu'une formule de qualité est construite à l'aide de un ou plusieurs critères de qualité (voir section 1.6.2) préalablement sauvegardés dans un répertoire de critères, il est essentiel de créer d'abord les critères désirés. Ceci explique la présence de deux sous-tenêtres de dialogue: une pour la définition des critères et une pour les formules de qualité, séparées par une barre verticale centrale.

Pour définir un critère, il suffit de positionner le curseur dans la sous-fenêtre de gauche et de spécifier les valuers désirées pour chacun des paramètres (notons que les considérations liées à la définition d'un opérateur s'applique aussi à cette sous-fenêtre - voir section 3.4.4.1). Les **Critères de base** disponible sont: la longueur des routes, le nombre de routes, le temps d'arrivée aux arrêts, le temps de parcours, la saturation de la capacité, de la distance maximale ou du temps de parcours maximal des véhicules. Pour chaque critère, l'usager doit fournir l'intervalle optimal, l'écart maximal, les deux facteurs de pénalité qui sont appliqués à la valeur de l'écart (i.e. Pénalité inf. si la valeur de l'écart est inférieure à la borne inférieure de l'intervalle optimal, ou Pénalité sup. si la valeur est supérieure à la borne

supérieure de l'intervalle optimal - voir la section 1.6.2). L'usager doit également spécifier le type de moyenne qu'il désire appliquer au calcul de l'écart, soit une moyenne linéaire ou une moyenne quadratique (voir section 1.6.2) . Notons que si le critère sélectionné est "le temps d'arrivée à l'arrêt", l'usager peut utiliser les symboles TOPT pour l'heure optimale d'arrivée à l'arrêt, TMIN pour la borne inférieure associée au cadre horaire de l'arrêt et TMAX pour la borne supérieure associée au cadre horaire de l'arrêt lors de la définition des divers paramètres.

Pour éditer (créer) une nouvelle formule de qualité, on choisit la commande **Nouvelle formule**. Après avoir effectué cette commande, l'usager peut ajouter le critère sélectionné dans la liste des **CRITERES** avec **Ajouter critère**. Il peut aussi enlever le critère sélectionné dans la liste des critères de la formule courante avec **Enlever critère**.

b) **Activer Opt2 G**
Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type OPT-2 sur la "super-route" formée par la fusion des routes individuelles (voir section 1.6) . Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

c) **Activer Opt2 I**
Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type OPT-2 sur chacune des routes prises individuellement (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

d) **Activer Opt2***
Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type OPT-2* sur la "super-route" formée par la fusion des routes individuelles (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

e) **Activer Opt3 G**
Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type OPT-3 sur la "super-route" formée par la fusion des routes individuelles (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

f) **Activer Opt3 I**

Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type OPT-3 sur chacune des routes prises individuellement (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

g) **Activer Swap1 G**

Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type SWAP-1 sur la "super-route" formée par la fusion des routes individuelles (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

h) **Activer Swap1 I**

Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type SWAP-1 sur chacune des routes prises individuellement (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

i) **Activer Swap2 G**

Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type SWAP-2 sur la "super-route" formée par la fusion des routes individuelles (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

j) **Activer Swap2 I**

Permet d'activer l'opérateur ECHANGE et d'appliquer une stratégie de type SWAP-2 sur chacune des routes prises individuellement (voir section 1.6). Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran.

g) **Activer Commis-Voyageur**

Permet d'appliquer un algorithme exact de commis voyageur sur chacune des routes prises individuellement. Les routes modifiées par l'opérateur sont ensuite affichées en traits gras à l'écran (l'algorithme ne tient pas compte ni de la formule de qualité ni des contraintes, et cherche simplement à minimiser la longueur des routes).

7.9 La commande d'édition manuelle

Cette commande permet à l'usager d'éditer, i.e d'initialiser et de modifier, les routes manuellement. Elle fait apparaitre la palette d'édition de route suivante:

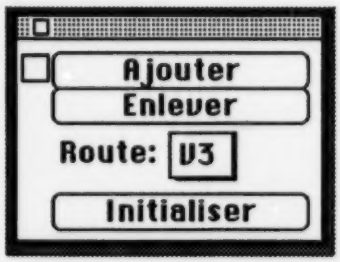


fig. 67 : La palette d'édition de routes

Le choix multiple **Route** contient la liste des routes existantes. L'usager peut y sélectionner la route sur laquelle s'appliqueront les commandes **Ajouter** et **Enlever**; celle-ci apparaîtra alors en noir alors que les autres routes seront affichées en gris.

Voici maintenant la description des commandes de cette fenêtre:

a) **Ajouter**
Permet d'ajouter un arrêt libre sur une route. Après avoir choisi cette commande, l'usager doit sélectionner l'arrêt sur route après lequel il désire insérer, puis le noeud libre à insérer.

b) **Enlever**
Permet d'enlever un arrêt d'une route. Après avoir choisi cette commande, l'usager doit sélectionner l'arrêt sur route qu'il désire retirer.

c) **Initialiser**
Permet d'initialiser une nouvelle route. Après le choix de cette commande, le système demande à l'usager, à l'aide d'une fenêtre de dialogue contenant la liste des véhicules, de choisir un véhicule pour desservir la nouvelle route. Il faut ensuite sélectionner un à un les arrêts libres qui seront les germes de la route; on termine la sélection en cliquant dans le fond de la fenêtre du réseau (i.e. on clique là où il n'y a aucun noeud). La nouvelle route est alors ajoutée à la liste de choix **Route** et devient la route courante.

7.10 Les Algorithmes

Un algorithme permet de regrouper au sein d'une seule procédure, tout un ensemble d'opérateurs préalablement instanciés et sauvegardés dans les répertoires d'opérateurs. Tout l'environnement offert par *Alto* peut être utilisé pour définir un algorithme; soit les procédures offertes par Allegro Common Lisp ou encore celles prédéfinies au sein du système (voir Annexe 1 pour une description complète). C'est l'utilisation de la fonction EX qui permet d'activer automatiquement un opérateur à l'intérieur de l'algorithme. Cette fonction utilise les paramètres suivants:

```
(EX <TYPE OPERATEUR>  "IDENT" <TYPE ECHANGE> <MODE>)
```

Les deux premiers paramètres sont employés par tous les opérateurs et correspondent respectivement au type de l'opérateur (INIT, INIT2, AJOUT, FUSION ou ECHANGE) et à l'identificateur associé à celui-ci dans le répertoire des opérateurs. Les deux derniers paramètres sont réservés exclusivement aux opérateurs de type ECHANGE et correspondent respectivement au type d'échange désiré (OPT2, OPT2*, OPT3, SWAP1 ou SWAP2) et au mode d'application de cet opérateur (I: pour l'application sur les routes prises individuellement, ou G: pour l'application sur la "super-route"). Notons que IDENT correspond à une chaine de caractères et elle doit toujours être placée entre guillemets.

a) **Définir...**

Cette commande fait apparaître la fenêtre suivante:

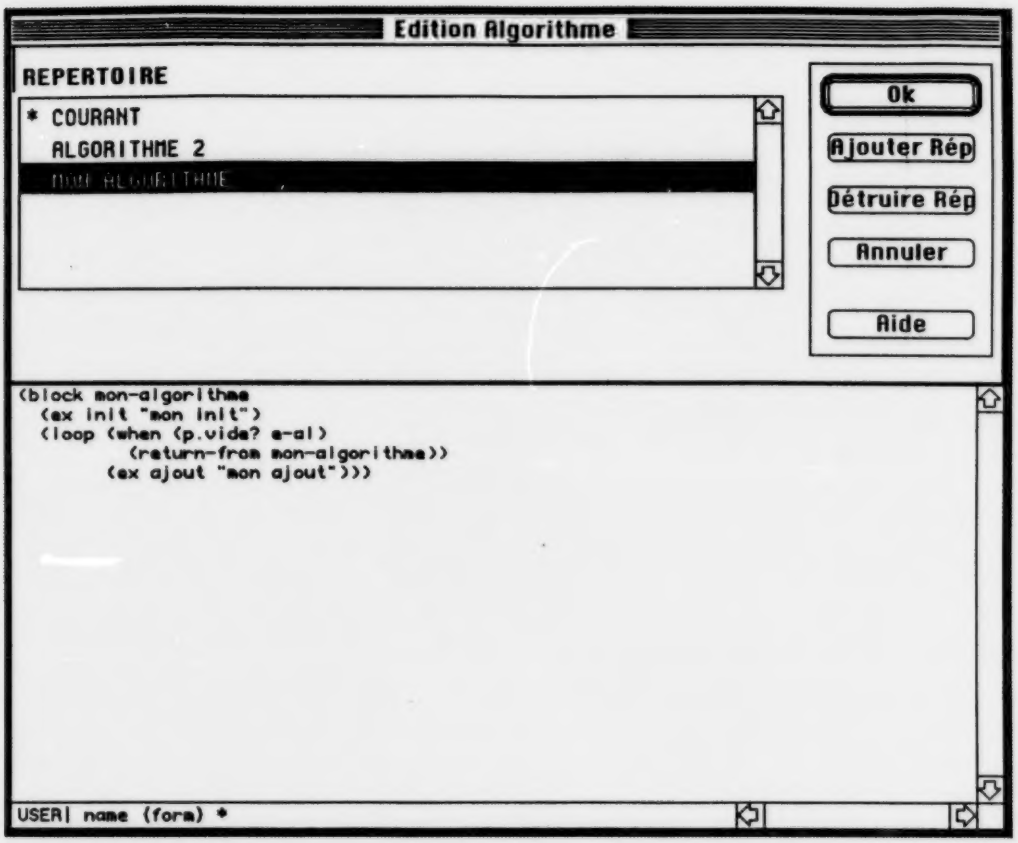


fig. 68 : L'édition d'algorithmes

Le fonctionnement de cette fenêtre est strictement identique à celui d'une fenêtre d'édition de formules (voir 7.3), hormis la commande **Aide**. Cette commande fait apparaître une fenêtre donnant la liste des opérateurs disponibles dans les répertoires d'opérateurs.

b) **Activer**

Permet d'activer l'algorithme courant. Les routes produites ou modifiées par l'activation de chacun des opérateurs à l'intérieur de l'algorithme sont alors affichées en traits gras à l'écran.

ANNEXE 1. Facilités prédéfinies

Toutes les facilités mentionnées ci-dessous peuvent être utilisées par l'usager lors de la spécification de ses formules d'instanciation. De plus, les variables globales et les ensembles prédéfinis sont automatiquement mis à jour par le système; l'usager ne devrait jamais tenter de modifier leur valeur.

1- Variables globales

O	l'origine
N-AL	le nombre d'arrêts libres
N-AR	le nombre d'arrêts sur les routes, y inclus l'origine
N-AR*	le nombre d'arrêts sur les routes, sans l'origine
N-AT	le nombre total d'arrêts
N-D	le nombre des derniers arrêts visités (1 par route)
N-E	le nombre d'arrêts extrêmes
N-P	le nombre des premiers arrêts visités (1 par route)
N-R	le nombre de routes
N-S	le nombre de seeds (germes)
N-VL	le nombre de véhicules libres, ne desservant pas de routes
N-VR	le nombre de véhicules desservant les routes
N-VT	le nombre total de véhicules
NOUV.R	la dernière route créée à l'aide de l'opérateur INIT (ou la liste des dernières routes créées, si NBROUTES > 1).

2- Ensembles prédéfinis

E-AL	ensemble des arrêts libres
E-AR	ensemble des arrêts sur les routes, y inclus l'origine
E-AR*	ensemble des arrêts sur les routes, sans l'origine
E-AT	ensemble de tous les arrêts
E-E	ensemble des arrêts extrêmes (E-D U E-P)
E-D	ensemble des derniers arrêts visités
E-P	ensemble des premiers arrêts visités
E-R	ensemble des routes
E-S	ensemble des seeds (germes)
E-VL	ensemble des véhicules libres, ne desservant pas de routes
E-VR	ensemble des véhicules desservant les routes
E-VT	ensemble de tous les véhicules

3- Primitives

(P.ANGLE NOEUD1 NOEUD2 NOEUD3)
l'angle entre les trois noeuds, NOEUD2 constituant le sommet de cet angle.

(P.ANGLEH NOEUD1 NOEUD2 NOEUD3)
l'angle horaire entre les trois noeuds.

(P.ARRETS ROUTE)
la liste des arrêts sur la route.

(P.CAPACITE VEHICULE)
la capacité du véhicule.

(P.CARD ENSEMBLE)
la cardinalité de l'ensemble.

(P.COMPACITE ROUTE)
la compacité de la route.

(P.DEM ARRET)
la demande à l'arrêt.

(P.DEMTOT ROUTE)
la demande totale sur la route (i.e. la somme des demandes aux arrêts).

(P.DERNIER ROUTE)
le dernier arrêt visité sur la route.

(P.DETOUR NOEUD1 NOEUD2 NOEUD3)
le détour qu'entraîne l'insertion de NOEUD2 entre NOEUD1 et NOEUD3.

(P.DIST NOEUD1 NOEUD2)
la distance entre NOEUD1 et NOEUD2.

(P.DIST.EUCLID NOEUD1 NOEUD2)
la distance euclidienne entre NOEUD1 et NOEUD2.

(P.DMAX VEHICULE)

la distance maximale autorisée pour le véhicule.

(P.ECART.FEN ARRET)

l'écart entre l'arrivée du véhicule à l'arrêt et le temps optimal de service.

(P.EXCES.CAP VEHICULE [DEMANDE] [LAMBDAcap])

l'excédent de demande recueillie par le véhicule (par rapport à la capacité maximale). Les paramètres entre crochets sont des paramètres optionnels. Si la demande n'est pas fournie, la fonction utilise la demande recueillie par le véhicule. Si LAMBDAcap n'est pas fourni, la fonction utilise le paramètre de pondération fourni au sein de l'opérateur.

(P.EXCES.DIST VEHICULE [DISTANCE] [LAMBDAdist])

l'excédent en distance parcourue par le véhicule (par rapport à la distance maximale autorisée). Si la distance n'est pas fournie, la fonction utilise la distance parcourue par le véhicule. Si LAMBDAdist n'est pas fourni, la fonction utilise le paramètre de pondération fourni au sein de l'opérateur.

(P.EXCES.FEN ARRET [TEMPS] [LAMBDAfen1] [LAMBDAfen2])

si le temps d'arrivée du véhicule se trouve hors de la fenêtre de temps, retourne la différence entre ce temps d'arrivée et la plus rapprochée des deux bornes. Si le temps n'est pas fournie, la fonction utilise le temps d'arrivée du véhicule. Si LAMBDAfen1 et LAMBDAfen2 ne sont pas fournis, la fonction utilise les paramètres de pondération fournis au sein de l'opérateur.

(P.EXCES.TEMPS VEHICULE [TEMPS] [LAMBDAtemps])

l'excédent en temps de parcours (par rapport au temps maximal autorisé pour le véhicule). Si le temps de parcours n'est pas fourni, la fonction utilise le temps de parcours du véhicule. Si LAMBDAtemps n'est pas fourni, la fonction utilise le paramètre de pondération fourni au sein de l'opérateur.

(P.FEN ARRET)

la fenêtre de temps à l'arrêt, sous la forme: (borne inférieure borne supérieure).

(P.LONGUEUR ROUTE)
la longueur de la route.

(P.NBARR ROUTE)
le nombre d'arrêts sur la route

(P.NBVEH ORIGINE)
le nombre de véhicules inclus dans l'origine

(P.NOEUD NUMERO)
le noeud qui correspond au numéro mentionné.

(P.NOEUDS ROUTE)
la liste des noeuds sur la route (arrêts + origine).

(P.PRED NOEUD)
si le noeud est sur une route, retourne le prédécesseur immédiat de ce noeud.

(P.PREMIER ROUTE)
le premier arrêt visité sur la route.

(P.RATIO NOEUD1 NOEUD2 NOEUD3)
le ratio entre NOEUD1, NOEUD2 et NOEUD3.

(P.RETARD NOEUD1 ARRET NOEUD2 VEHICULE ROUTEFLG)
le retard qu'entraîne l'insertion de l'arrêt libre ARRET entre NOEUD1 et NOEUD2 (ces deux derniers noeuds se trouvant déjà sur la route desservie par le véhicule). Si ROUTEFLG est T, retourne le retard en bout de route, sinon c'est le retard local au niveau de NOEUD2 qui est considéré.

(P.ROUTE ARRET/VEHICULE)
la route sur laquelle se trouve l'arrêt; la route desservie par le véhicule.

(P.SATURATION.CAP VEHICULE [DEMANDE] [LAMBDAcap])
le degré de saturation de la capacité du véhicule, i.e. DEMANDE / CAPACITE. Les paramètres entre crochets sont des paramètres optionnels. Si la demande n'est pas fournie, la fonction utilise la demande recueillie par le véhicule. Si LAMBDAcap n'est pas fourni,

la fonction utilise le paramètre de pondération fourni au sein de l'opérateur.

(P.SATURATION.DIST VEHICULE [DISTANCE] [LAMBDAdist])
le degré de saturation de la distance maximale autorisée pour le véhicule. Si la distance n'est pas fournie, la fonction utilise la distance parcourue par le véhicule. Si LAMBDAdist n'est pas fourni, la fonction utilise le paramètre de pondération fourni au sein de l'opérateur.

(P.SATURATION.TEMPS VEHICULE [TEMPS] [LAMBDAtemps])
le degré de saturation du temps maximal autorisé pour le véhicule. Si le temps de parcours n'est pas fourni, la fonction utilise le temps de parcours du véhicule. Si LAMBDAtemps n'est pas fourni, la fonction utilise le paramètre de pondération fourni au sein de l'opérateur

(P.SAVING NOEUD1 NOEUD2 ORIGINE)
le saving entre NOEUD1 et NOEUD2 par rapport à ORIGINE.

(P.SEEDS ROUTE)
le seed ayant permis d'initialiser la route (s'il y a plus d'un seed, retourne une liste).

(P.SUCC NOEUD)
si le noeud est sur une route, retourne le successeur immédiat de ce noeud.

(P.SUCC.ROUTE NOEUD)
si le noeud est sur une route, retourne la liste des successeurs de ce noeud.

(P.T.ARRIVEE ARRET)
le temps d'arrivée du véhicule à l'arrêt.

(P.T.ARRIVEE.PRED NOEUDpred ARRET VEHICULE)
le temps d'arrivée du véhicule à l'arrêt libre ARRET si on l'insère après NOEUDpred (ce dernier se trouvant déjà sur la route desservie par le véhicule).

(P.T.ATTENTE ARRET)
le temps d'attente du véhicule desservant l'arrêt.

(P.T.ATTENTE.PRED NOEUDpred ARRET VEHICULE)
le temps d'attente du véhicule à l'arrêt libre ARRET si on l'insère après NOEUDpred (ce dernier se trouvant déjà sur la route desservie par le véhicule).

(P.T.ATTENTETOT ROUTE)
le temps d'attente total du véhicule desservant la route (somme des temps d'attente aux arrêts).

(P.T.CHEMIN NOEUD1 NOEUD2 VEHICULE)
le temps nécessaire afin de parcourir la distance entre NOEUD1 et NOEUD2 avec le véhicule.

(P.T.DEM ARRET)
le temps nécessaire afin de recueillir la demande à l'arrêt.

(P.T.DEMTOT ROUTE)
le temps nécessaire afin de recueillir la demande pour tous les arrêts de la route.

(P.T.SEJOUR ARRET)
le temps de séjour du véhicule à l'arrêt (temps d'attente + temps pour recueillir la demande).

(P.T.SERVICE ARRET)
le temps de service du véhicule à l'arrêt.

(P.T.SERVICE.PRED NOEUDpred ARRET VEHICULE)
le temps de service du véhicule à l'arrêt libre ARRET, si ce dernier est inséré après NOEUDpred (qui se trouve déjà sur la route desservie par le véhicule).

(P.TMAX VEHICULE)
le temps maximal de parcours autorisé pour le véhicule.

(P.T0.ROUTE ROUTE)
le tempso sur la route (i.e. lorsque le véhicule part de l'origine)

(P.TN.ROUTE ROUTE)
le tempsn sur la route (i.e. lorsque le véhicule revient à l'origine)

(P.TEMPS.ROUTE ROUTE)

le temps nécessaire afin de parcourir la route (tempsn - tempso).

(P.TMAX.FEN ARRET)

la borne supérieure de la fenêtre de temps à l'arrêt.

(P.TMIN.FEN ARRET)

la borne inférieure de la fenêtre de temps à l'arrêt.

(P.TOPT.FEN ARRET)

le temps optimal de service à l'arrêt.

(P.VEHICULE ARRET/ROUTE/IDENT)

le véhicule desservant la route, l'arrêt ou ayant IDENT comme identificateur.

(P.VITESSE VEHICULE)

la vitesse du véhicule.

4- Prédicats

(P.AJOUT? NOEUDpred/succ ARRET ORDRE)

est-il possible d'ajouter ARRET avant ou après NOEUDpred/succ (dépendant du paramètre ORDRE) et de respecter les contraintes? Le paramètre ORDRE peut prendre la valeur <I (avant) ou >I (après); si l'ordre n'est pas indiqué, la fonction prend la spécification fournie au sein de l'opérateur AJOUT.

(P.ARRET? NOEUD)

le noeud est-il un arrêt?

(P.DERNIER? ARRET)

si l'arrêt est sur une route, s'agit-il du dernier arrêt visité?

(P.FEN? ARRET [TEMPS] [LAMBDAfen1] [LAMBDAfen2])

le temps d'arrivée du véhicule à l'arrêt se trouve-t-il à l'intérieur de la fenêtre de temps?

(P.FUSION? ROUTE1 ROUTE2)

est-il possible de fusionner ROUTE1 et ROUTE2 de façon à assurer le respect des contraintes?

(P.LIBRE? ARRET)

l'arrêt est-il libre, i.e. non desservi par un véhicule?

(P.MEMBRE? OBJET ENSEMBLE)

l'objet est-il élément de l'ensemble?

(P.ORIGINE? NOEUD)

le noeud correspond-t-il à l'origine?

(P.PREMIER? ARRET)

si l'arrêt est sur une route, s'agit-il du premier arrêt visité?

(P.REALISABLE? ROUTE)

la route est-elle réalisable?

(P.VIDE? ENSEMBLE)

l'ensemble est-il vide?

5- Opérateurs ensemblistes

(SOUS-ENS <ELEMENT> <ENSEMBLE> <PREDICAT>)
retourne le sous-ensemble des élements vérifiant le prédicat.
p.e. (SOUS-ENS AL E-AL (= (P.DEM AL) 100))

(MAXOBJ <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne l'élément de l'ensemble pour lequel la valeur de la fonction est maximale.

(MAXVAL <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne la valeur maximale de la fonction dans l'ensemble.

(MAXREGRET <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne le regret par rapport à la valeur maximale de la fonction dans l'ensemble. (i.e. différence entre la valeur maximale et la valeur immédiatement inférieure à la valeur maximale)

(MINOBJ <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne l'élément de l'ensemble pour lequel la valeur de la fonction est minimale.

(MINVAL <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne la valeur minimale de la fonction dans l'ensemble.

(MINREGRET <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne le regret par rapport à la valeur à la valeur minimale de la fonction dans l'ensemble. (i.e. différence en valeur absolue entre la valeur minimale et la valeur immédiatement supérieure à la valeur minimale)

(RANDOBJ <ENSEMBLE>)
retourne un élément choisi aléatoirement dans l'ensemble.

(SUM <ELEMENT> <ENSEMBLE> <FONCTION>)
retourne la somme des valeurs de la fonction appliquée à chaque élément de l'ensemble.

ANNEXE 2. Description des formats de fichiers

Cette annexe est consacrée à la description des quatre fichiers qui servent à définir un problème: le fichier du réseau, le fichier d'arrêts, le fichier des distances et le fichier des véhicules.

1- Fichier du réseau

Le fichier du réseau contient :

a) Le nombre de noeuds dans le réseau

b) La liste des noeuds (un noeud par ligne):
Chaque ligne contient les informations suivantes:
1) Identificateur du noeud
2) Numéro du noeud
3) Coordonnées X et Y associées au noeud

c) Le nombre d'arcs reliant les noeuds du réseau

d) La liste des arcs (un arc par ligne):
Chaque ligne contient les informations suivantes:
1) Identificateur de l'arc
2) Numéro de l'arc
3) Numéro du noeud origine
4) Numéro du noeud destination
5) Longueur en mètres de l'arc (si la longueur est égale à NIL, alors elle sera calculée par le système et elle correspondra à la distance euclidienne entre le noeud origine et le noeud destination)
6) Temps en minutes nécessaire pour parcourir l'arc (si le temps est égal à NIL, alors temps = 0)
7) Angle horaire en degrés formé par l'arc [2] (si l'angle est égal à NIL, alors il sera calculé par le système)
8) Valeur logique indiquant si on peut parcourir l'arc dans les deux sens (T) ou seulement dans le sens origine - destination (NIL)
9) Interdiction de virage associée à l'arc quand on le parcoure dans le sens origine-destination (i.e. NIL aucune interdiction, G virage à gauche interdit ou U demi-tour interdit)
10) Interdiction de virage associée à l'arc quand on le parcoure dans le sens destination - origine (voir point 9)

e) Le nombre de rues

f) La liste des rues (une rue par ligne):
Chaque ligne contient les informations suivantes:
1) Nom de la rue

2) Numéro de la rue
3) Nombre d'arcs situés sur cette rue
4) La liste des numéros d'arcs (un numéro par ligne)

2- Fichier d'arrêts

Le fichier d'arrêts contient :

a) Le nombre d'origines

b) La liste des origines (une origine par bloc):
Chaque bloc associé à une origine contient les informations suivantes:
   1) Numéro de l'origine
   2) Nombre d'arcs d'accès
   3) La liste des arcs d'accès (un arc par ligne)
      Chaque ligne associée à un arc d'accès contient les informations suivantes:
      i) Numéro de l'arc d'accès
      ii) Sens utilisé (NIL: sens D|O, T: sens O|D)

c) Le nombre d'arrêts

d) La liste des arrêts (un arrêt par bloc):
Chaque bloc associé à un arrêt contient les informations suivantes:
   1) Numéro de l'arrêt
   2) Demande de l'arrêt (en unités)
   3) Temps alloué pour recueillir cette demande (en minutes)
   4) Heure optimale de service à l'arrêt (en minutes)
   5) Cadre horaire (en minutes): l'heure au plus tôt et au plus tard à laquelle on peut desservir l'arrêt
   6) Nombre d'arcs d'accès
   7) La liste des arcs d'accès (un arc par ligne)
      Chaque ligne associée à un arc d'accès contient les informations suivantes:
      i) Numéro de l'arc d'accès
      ii) Sens utilisé (NIL: sens D|O, T: sens O|D)

3- Fichier des distances

Le fichier des distances contient :

a) Le nombre N de noeuds

b) La liste des distances entre les N noeuds et leurs (N-1) voisins (un bloc pour chaque noeud origine)
Chaque bloc associé à un noeud origine contient les informations suivantes:

1) Numéro du noeud origine
2) La liste des distances entre le noeud origine et les (N-1) noeuds destinations (une ligne pour chaque noeud destination)
Chaque ligne associée à un noeud destination contient les informations suivantes:
   i) Numéro du noeud destination
   ii) 4 distances en mètres (une valeur par arc d'accès [2])

4- Fichier des véhicules

Le fichier des véhicules contient :

a) Le nombre de véhicules

b) La liste des véhicules (un véhicule par ligne)
Chaque ligne associé à un véhicule contient les informations suivantes:

1) Identificateur du véhicule
2) Numéro du véhicule
3) Capacité en unités du véhicule
4) Distance maximale en mètres que peut parcourir le véhicule
5) Vitesse du véhicule en mètres/minute
6) Disponibilités en minutes du véhicule: l'heure au plus tôt à laquelle le véhicule peut débuter sa tournée et l'heure au plus tard à laquelle il doit être de retour à l'origine (dépôt)

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bodin L., Golden B., Assad A. & Ball M., "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art", Computers and Operations Research, vol. 10, no. 2 (1983).

[2] Potvin J.Y., "Un Système Informatique pour le Développement et l'Expérimentation d'Algorithmes de Génération de Tournées", Publication no. 613, Département IRO, Université de Montréal (1987).

[3] Potvin J.Y., Lapalme G. & Rousseau J.M., "ALTO: A Computer System for the Design of Vehicle Routing Algorithms", Publication no. 616, Computers & Operations Research, 16(5), pp. 451-470 (1989).

[4] Steele Jr. Guy L., "Common Lisp: the language", Digital Press (1984).

[5] Manuel d'utilisation de McIntosh Allegro Common Lisp, Apple (1990).